

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Sissonen

MUUTOS KOHTI ASIAKASKESKEISTÄ SÄHKÖJÄRJESTELMÄÄ

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2020



OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2020
Talotekniikan koulutusohjelma

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
013 260 600

Tekijä(t)
Timo Sissonen

Nimeke
Muutos kohti asiakaskeskeistä sähköjärjestelmää

Toimeksiantaja
Voimatel Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä muutoksin, siirryttäessä kohti asiakaskeskeistä sähköjärjestelmää, joka perustuisi ympäristöystävällisiin sähköntuotantotapoihin. Painetta muutokselle tuovat Euroopassa asetetut kunnianhimoiset energiatehokkuuteen tähtäävät toimet ja muuttunut ajatusmalli puhtaasti tuotetusta energiasta.

Tavoitteena on saavuttaa hiilineutraalius ja kestävä kehitys. Puhtaaseen energiaan on myös panostettu yhä enemmän viime aikoina. Siirryttäessä uusiutuvalla energialla tuotettuihin energiamuotoihin tulee tuotetun sähkön määrä vaihtelevaan vallitsevien sääolosuhteiden mukaisesti. Vaihtelevan sähköntuotannon osuuden kasvaessa on sähkönsiirron ja kulutuksen kehityttävä joustavammaksi. Älyverkkotyöryhmän loppuraportin mukaan sähköjärjestelmää tulisi kehittää niin, että se tarjoaisi asiakkaalle mahdollisuuden toimia osana sähköjärjestelmää ja olla osana energiamurrosta. Toimintaympäristön muutosten myötä energiankäytön optimoinnille ja ohjaukselle kohdistuu uudenlaisia vaatimuksia.

Tarkoituksena oli lähestyä aihetta sähkönkuluttajien näkökulmasta ja tuoda esille ajurit, joiden pohjalta ollaan etenemässä. Monella kuluttajalla on kiinnostusta uusiutuviin energialähteisiin. Uusiutuvan energian tuotantovälineitä hankitaan omaan käyttöön sekä tehdään arvovalintoja ostettaessa sähköä. Puhtaiden energiamuotojen lisäksi työssä on tutkittu mahdollisuuksia energiankäytön vähentämiselle uusien älykkäiden teknologioiden avulla. Kehityskohteita ja uusia ratkaisuja on käyty läpi valmiiden lähdeaineistojen valossa. Toimeksiantajana opinnäytetyölle toimi Voimatel Oy, joka halusi katsauksen mahdollisuuksista, joita sähköasiakkaiden on mahdollista hyödyntää tulevaisuuden markkinoilla.

Kieli
suomi

Sivuja 47

Asiasanat

hiilineutraalius, älyverkko, käytön optimointi



THESIS
June 2020
Degree Programme in Building Services Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Timo Sissonen

Title
Change Towards Customer-Oriented Electric System

Commissioned by
Voimatel Oy

Abstract

The objective of this thesis was to look into the changes whilst moving towards customer-centric electric system which would base on environmentally friendly methods of producing electricity. A pressure for change is caused by the ambitious action measures for energy efficiency in Europe and the changed mindset of cleanly produced energy.

The aim is to achieve carbon neutrality and sustainable development. Recently, cleanly produced energy has also been increasingly invested in. Moving to energy forms produced with renewable energy, the quantity of the produced electricity will vary according to the current weather conditions. The growing share of variable electricity production will force the electric power transmission and consumption to become more flexible. According to the final report of the Smart Grid Working Group, the electric system should be developed so that it would offer customers a possibility to get involved with the electric system and to be part of the energy revolution. The changes in the operational environment have been setting new demands for the optimization and control in use of energy.

The aim was to approach the theme from the consumers' perspective and bring out the phenomena that are the base for the developments. Many consumers are showing an interest in renewable energy sources. The means for renewable energy production are purchased for consumer use and value judgments are made more often when buying electricity. In addition to the clean energy forms, the thesis studied the opportunities to reduce the use of energy with the help of smart technologies. Development goals and new solutions are presented based on secondary research sources. The thesis is commissioned by Voimatel Oy which wanted an overview of the possibilities electricity consumers can utilise in future markets.

Language

Finnish

Pages 47

Keywords

carbon neutrality, smart grid, optimization of use

Sisältö

Tiivistelmä
Abstract

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Johdanto | 6 |
| 2 | Energiantuotanto ja ilmastostrategia | 7 |
| 2.1 | Ilmastostrategia | 7 |
| 2.2 | Energiajärjestelmä | 9 |
| 2.3 | Sähköntuotannon energialähteet | 10 |
| 3 | Tulevaisuuden muutokset energiajärjestelmässä | 11 |
| 3.1 | Sähköntuotannon muutokset | 11 |
| 3.2 | Datahub | 13 |
| 3.3 | Älyverkko | 15 |
| 3.4 | Teollinen internet sähköjärjestelmän näkökulmasta | 17 |
| 3.5 | Kysyntäjousto | 19 |
| 3.6 | Sähkönkulutuksen tehopohjainen laskutus | 20 |
| 3.7 | Sähkövarastojen hyödyntäminen | 21 |
| 3.8 | Tiedonhallinta | 22 |
| 4 | Asiakkaan energiankäytön optimointi | 24 |
| 4.1 | Sähkön hankinta joustavasti markkinoilta | 24 |
| 4.2 | Sähkölaitteiden ohjaus kiinteistössä | 26 |
| 4.3 | Energia yhteisöt pientuotannon näkökulmasta | 28 |
| 4.4 | Kulutuksenseuranta käytönoptimoinnin näkökulmasta | 32 |
| 4.5 | Esineiden internet | 33 |
| 4.6 | Energiatehokkuus asuinrakennuksissa | 35 |
| 5 | Pohdinta | 37 |
| | Lähteet | 40 |

Käytetyt lyhenteet ja termit

| | |
|-----------------|--|
| CO ₂ | Hiilidioksidi |
| MT | Megatonni |
| TWh | Terawattitunti |
| Hz | Hertsi |
| MW | Megawatti |
| CHP | Sähkön ja lämmönyhteistuotanto (combined heat and power) |
| kV | Kilovoltti |
| ICT | Tieto- ja viestintäteknologia |
| TEM | Työ- ja elinkeinoministeriö |
| GWh | Gigawattitunti |
| MVA | Megavoltiampeeri |
| IP | Internetin protokolla |
| ID | Tietokäsittelyssä annettava yksilöllinen tunniste |
| IoT-laitteet | Esineiden internetin laite |
| IoT-ratkaisut | Esineiden internetratkaisu |

1 Johdanto

Tässä oppinäytetyössä käsitellään Suomessa tapahtuvaa sähköenergian tuotanto- ja käyttömurrosta sekä mahdollisia muutoksia sähköverkossa. Tehtävänä oli kuvata visioita, joilla asiakas voi osallistua älykkäämmäksi ja energiatehokkaammaksi muuttuvaan sähköjärjestelmään. Pohjana tulevaisuuden muutoksien hahmottamiselle toimi työ- ja elinkeinoministeriön älyverkkotyöryhmän julkaisema raportti ja päästörajoitukset vuodelta 2018, joihin Suomessa ollaan tulevaisuudessa sitoutumassa.

Sähköjärjestelmän luotettava toiminta ja sähkön alituinen saatavuus on yhteiskunnalle tärkeää. Sään mukaan vaihtelevan uusituvan energian lisääntyminen ja samanaikainen säädettävän lauhdetuotannon väheneminen aiheuttavat haasteita sähkönsaannin huoltovarmuudelle. Perinteisesti Suomen huoltovarmuus on perustunut säädettävään lauhdetuotantoon. On löydettävä uudenlaisia ratkaisuja tasapainottamaan tuotantoa ja kulutusta, joita on onnistuneesti jo otettukin käyttöön. Huoltovarmuuteen ja poikkeustilanteisiin liittyvät näkökohdat on myös arvioitava uudelleen. [1.] Vuonna 2014 Suomen energian loppukulutuksesta sähköns osuus oli 28 %, kaukolämpöä 16 % ja polttoaineiden suoraa käyttöä 56 %. Liikenteellä oli suurin osuus polttoaineiden suoraan käyttöön ja lämmityksellä toiseksi suurin. Rakennuksien osuus loppukäytöstä oli noin 40 % ja liikenteellä 20 %. Vuonna 2050 sähköns osuuden odotetaan nousevan 36–45 %:iin siirryttäessä vähähiiliseen yhteiskuntaan. [2.] Painetta uusien teknologioiden ja toimintamallien kehittämiseksi siis löytyy, sillä sähköntuotannon sekä siirtoverkkojen on kestävä nouseva sähköns kulutus.

Oppinäytetyössä käydään läpi energiajärjestelmän muutoksia tulevassa energiamurroksessa sähköasiakkaan näkökulmasta. Aiheet ovat valikoituneet älyverkkotyöryhmän raportin pohjalta sekä ajatuksista siitä, missä muutoksia tulee tapahtumaan ja millä keinoin energiatehokkuutta saadaan parannettua. Työssä on pidetty myös mielessä, miten ympäristönkuormitusta saataisiin vähennettyä sähköjärjestelmässä. Siirtyminen kohti vähähiilisiä energiantuotantomuotoja asettaa

painetta energian siirron, kulutuksen ja tuotannon muutoksille. Näitä mahdollistetaan lisäämällä sähköverkkoon älykkyyttä, joka tapahtuu sisällyttämällä sähköverkkoon automaatioita sekä ohjattavuutta. Älykkyyden myötä energiajärjestelmästä voidaan kehittää joustavampi sekä asiakasta palveleva. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Voimatel Oy, joka halusi työssä katsauksen tulevaisuuden energiajärjestelmästä, sähkön vähittäismarkkinoista sekä kulutuksen ja tuotannon muotoutumisesta.

2 Energiantuotanto ja ilmastostrategia

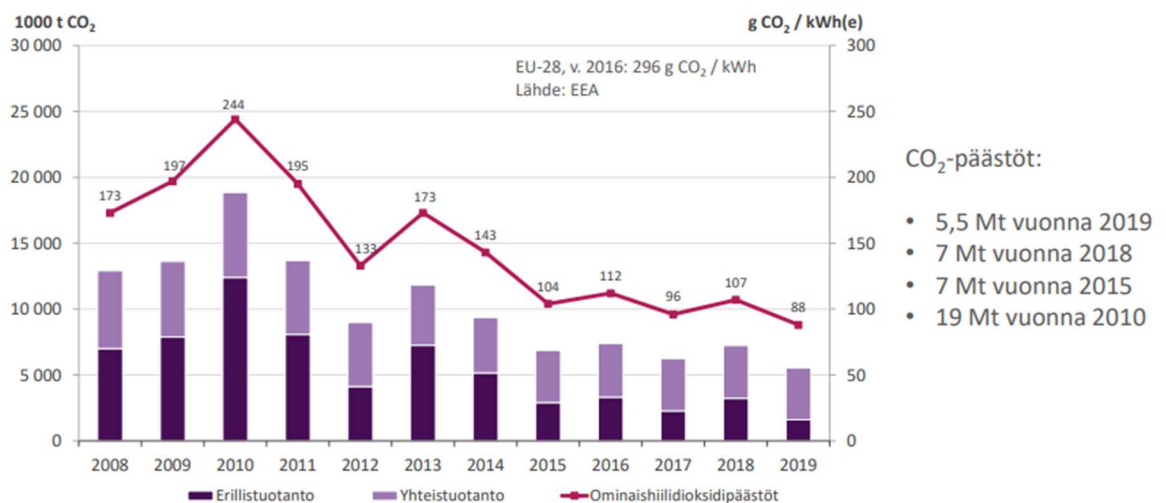
2.1 Ilmastostrategia

Yhteiskunta on herännyt kantamaan vastuuta nykyisen ympäristön tilasta, johon osittain käynnissä olevasta ilmaston lämpenemisestä sekä sään ääri-ilmiöistä. Muun muassa marraskuussa 2016 astui voimaan Pariisin sopimus, johon sitoutui Yhdistyneisiin kansakuntiin kuuluvia maita. Sopimus on voimassa toistaiseksi ja se koskee vuoden 2020 jälkeistä aikaa. Tavoitteena on maapallon keskilämpötilan nousun rajaaminen alle kahteen asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna. Pyrkimyksenä on saada rajattua lämpeneminen alle 1,5 asteeseen. Lisäksi tavoitteena on suunnata investointeja kohti vähähiilistä kehitystä sekä asettaa tavoitteita ilmastonmuutokseen sopeutumiselle. [3.] Tavoitteisiin on sitouduttu vaihtelevalla menestyksellä. Tällä viitataan esimerkiksi Yhdysvaltojen irtautumiseen sopimuksesta.

Ilmakehän funktiot vastaavat kasvihuoneen toimintaa. Auringon säteet pääsevät läpäisemään ilmakehän kaasut, mutta lämmöstä vain osa pääsee haihtumaan takaisin avaruuteen. Kaasujen määrä ilmakehässä on lisääntynyt merkittävästi ihmisten toimesta. Kolme neljäsosaa kasvihuonepäästöistä muodostuu fossiilisista polttoaineista kuten öljystä, kivihiilestä ja maakaasusta. [4.] Merkittävimmät kaasut ovat hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli ja niiden pitoisuudet ovat kas-

vaneet huomattavasti verrattuna esiteolliseen aikaan. Pitoisuuksiin vaikuttavat ihmiskunnan suorien päästöjen lisäksi ilmakehän sekä ekosysteemin välinen vuorovaikutus. [5.] Yleisenä tavoitteena on siis pyrkiä tuottamaan ja kuluttamaan energiaa niin että ilmakehään ei vapautuisi päästöjä. Lisäksi ilman lämpötilan noustessa on huomattu vesihöyryn määrän kasvavan, joka taas kohottaa lämpötilaa entisestään. Termiä kutsutaan palauteilmioiksi, jossa kasvihuonepäästöjen aiheuttama lämpeneminen voimistuu. [6.]

Ilmastonlämpenemistä pyritään torjumaan, missä sähköntuotannon päästöjen vähentämisellä on merkittävä rooli. Sähköntuotannon päästöjä vähennettäessä lisääntyvät uusiutuvat energiantuotantotavat kuten tuuli- sekä aurinkovoima. Näiden tuotanto vaihtelee sään mukaan. Samanaikaisesti poistetaan markkinoilta säädettävää sähköntuotantoa, joka tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla. Muutoksesta käytetään termiä energiamurros. [7.] Suomen hallituksen tavoitteen mukaan hiilineutraalius saavutettaisiin vuonna 2035. Sähkön tuottamisen haasteena eivät ole päästöt, vaan miten ennakoida investointiympäristöä, sillä sähkön käytön lisäämisellä saadaan vähennettyä päästöjä muilta toimialoilta. [8.] Kuvan 1 mukaan sähköntuotannon CO₂-päästöt olivat 5,5 Mt vuonna 2019. [9.] Kuvasta nähdään, että päästöt ovat laskeneet viimeisen kymmenen vuoden aikana merkittävästi.



Kuva 1. Hiilidioksidipäästöt sähköntuotannossa vuonna 2019 [9].

Energiantuotanto- ja käyttö aiheuttavat valtaosan kasvihuonepäästöistä. Päästöjen ja kulutuksen vähentäminen on mahdollista siirtymällä vähähiiliseen energiajärjestelmään. Keinoja siihen ovat vähähiilinen energiantuotanto, parantunut energiatehokkuus, kysynnänjousto sekä energian talteenotto. Energiatehokkuuden parantamisella saadaan parhaiten pienennettyä kasvihuonepäästöjä. Tällä tarkoitetaan energiankäytön tehostamista niin, että sen kulutus laskee. Sen alle lukeutuu monia yksittäisiä kohteita kuten kotitalouslaitteet, rakennukset sekä liikenne ja palvelutuotanto [2]. Tähän energiatehokkuuden parannukseen sähköjärjestelmissäkin siis pyritään.

2.2 Energiajärjestelmä

Sähkötuotanto tapahtuu voimalaitoksissa, jotka ovat perinteisesti suuria kokonaisuuksia, joiden tehot ovat kymmeniä tai satoja megawatteja. Asunnon kuluttama teho on normaalisti muutamia kilowatteja. Voimalaitosten sähkö tuotetaan generaattorilla, jota pyöritetään käyttövoiman mukaan. [10.] Sähköä tuotettiin Suomessa 66 TWh vuonna 2018 [9]. Voimalaitoksia pyritään sijoittamaan lähelle kuluttajia, jotta sähkönsiirtoverkkoa ei tarvitsi rakentaa niin laajana ja samalla hukata osaa sähköstä. Siirtokapasiteetti rajoittaa esimerkiksi tuulivoiman laajempaa käyttöä. Sähköä tulee tuottaa joka hetki saman verran kuin sitä kulutetaan. Valtakunnanverkossa tuotantoon suhteutettuna kulutusvaihtelut ovat pieniä. [11.] Vakaata tuotantoa kutsutaan perusvoimaksi, jota suurin osa voimalaitoksista tuottaakin. Vakioteholla toimivia tuotantotapoja ovat esimerkiksi ydinvoimalaitokset, kaukolämpö sekä yhteistuotantolaitokset. [10.]

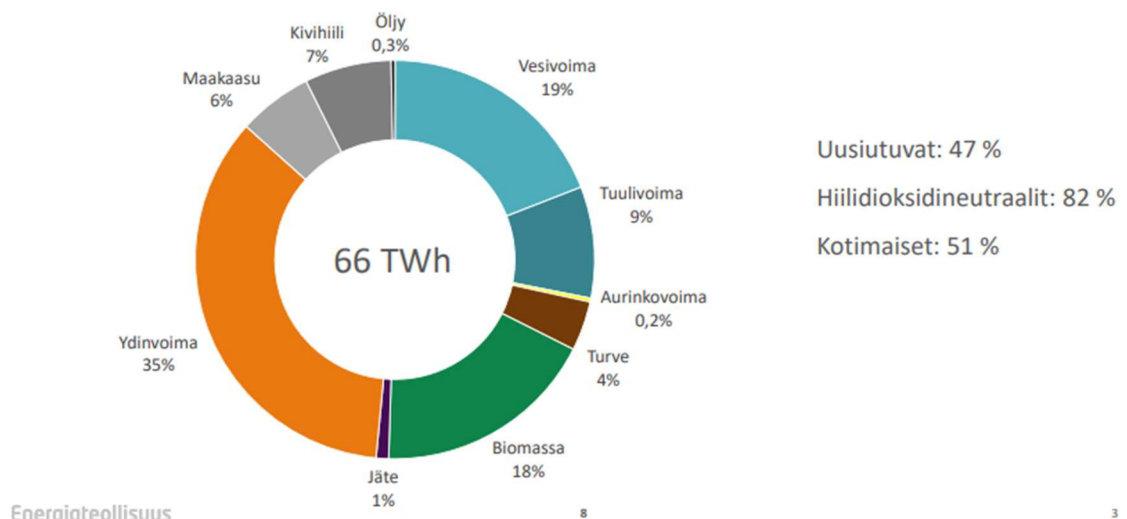
Tuotanto tarvitsee vakauden lisäksi nopeasti säädettävää säätövoimaa, koska sitä tarvitaan pitämään tuotanto ja kulutus tasapainossa. [11.] Tällöin saadaan pidettyä taajuus sallitussa vaihteluvälissä, joka on 49,5–50,5 Hz [12]. Tuontisähköä, vesivoimaa ja kaasuturbiinilaitoksia käytetään erityisesti säätövoiman tuottamiseen. Säätövoiman käyttöön varaudutaan ennustamalla energiantuotantoa. [13.] Energiamurros aiheuttaa haasteita etenkin säätövoimassa, koska osa siitä

tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla. Varavoiman tarkoitus on puolestaan, että reservissä pidetään voimalaitoksia varavoimana, jos joku suurempi laitos yllättäen rikkoontuisi tai siirtoyhteysissä ilmenisi vika. Se otetaan käyttöön, kun perusvoima ei pysty vastaamaan sähkön kysyntään. Sitä voidaan tarvita esimerkiksi, suuren voimalaitoksen päätyessä huoltoon tai sähkön kulutuksen kasvaessa. Sähköä joudutaan säännöstelemään, jos varavoimakaan ei riitä. Varavoimaa on varattu sähköntuotannon häiriöihin Suomessa 1300 MW. [14.]

2.3 Sähköntuotannon energialähteet

Suomen sähköntuotanto koostuu monipuolisesti useista energialähteistä ja tuotantomuodoista. Ydinvoima, vesivoima, kivihiili, maakaasu ja puupolttoaineet ovat tärkeimpiä energialähteitä. Tuulivoiman osuus on kasvanut selvästi viime vuosina, vaikkakin osuudeltaan se on varsin pieni. [15.] Tuulivoimaloiden rakentaminen on aktiivista Suomessa erityisesti länsirannikolla.

Hiilidioksidineutraali sähköntuotanto ennätystasolla



Kuva 2. Sähköntuotanto Suomessa [9].

Kuvan 2 mukaan noin kolmannes sähköntuotannosta vuonna 2019 tapahtui ydinvoimalla, noin viidennes vesivoimalla, noin 9 % tuulivoimalla ja reilu 18 % biomassalla. Näin ollen tuotannosta 82 % oli hiilidioksidineutraalia. Fossiilisilla polttoaineilla tuotettiin noin 17 %. Sähköä tuotiin Suomeen yhteensä 22,4 TWh. [9.]

Tuuli ja aurinkovoima ovat uusia sähköntuotantomuotoja. Ne ovat päästöttömiä, mutta niiden tuotanto perustuu vallitseviin luonnonolosuhteisiin ja vaativat paljon säätövoimaa. Tehon tuotanto voi olla myös heikkoa korkean kulutuksen hetkinä, mutta tulevaisuudessa sähkönvarastoinnin kehittyminen voi helpottaa ongelmaa. [10.] Ne ovat energiamuotoja, joiden primäärienergianlähde on inhimillisissä olosuhteissa mitattuna käytännössä loputon ja toisella nimellä kutsuttuna uusiutuvaa energiaa. [16.] Primäärienergialla tarkoitetaan energialähteen alkuperäistä muotoa. [17.] Bioenergiaa lukuun ottamatta uusiutuvat energialähteet eivät tuota kasvihuonepäästöjä. [16.] Kasvihuonepäästöt taas ovat ihmiskunnan tuottamia kasvihuonekaasuja, joista hiilidioksidi on pitkällä aikavälillä katsottaessa lämmitysvaikutuksiltaan merkittävin. [18.] Biopolttoaineista syntyvät hiilidioksidipäästöt lasketaan osaksi luonnollista hiilikiertoa ja niiden ei katsota lisäävän kasvihuoneilmiötä, jos biomassaa syntyy saman verran, kun sitä käytetään. [16.] Suomesta löytyvien metsävarantojen ansiosta on biopolttoaineiden tuotanto kasvanut uusien tehtaiden myötä.

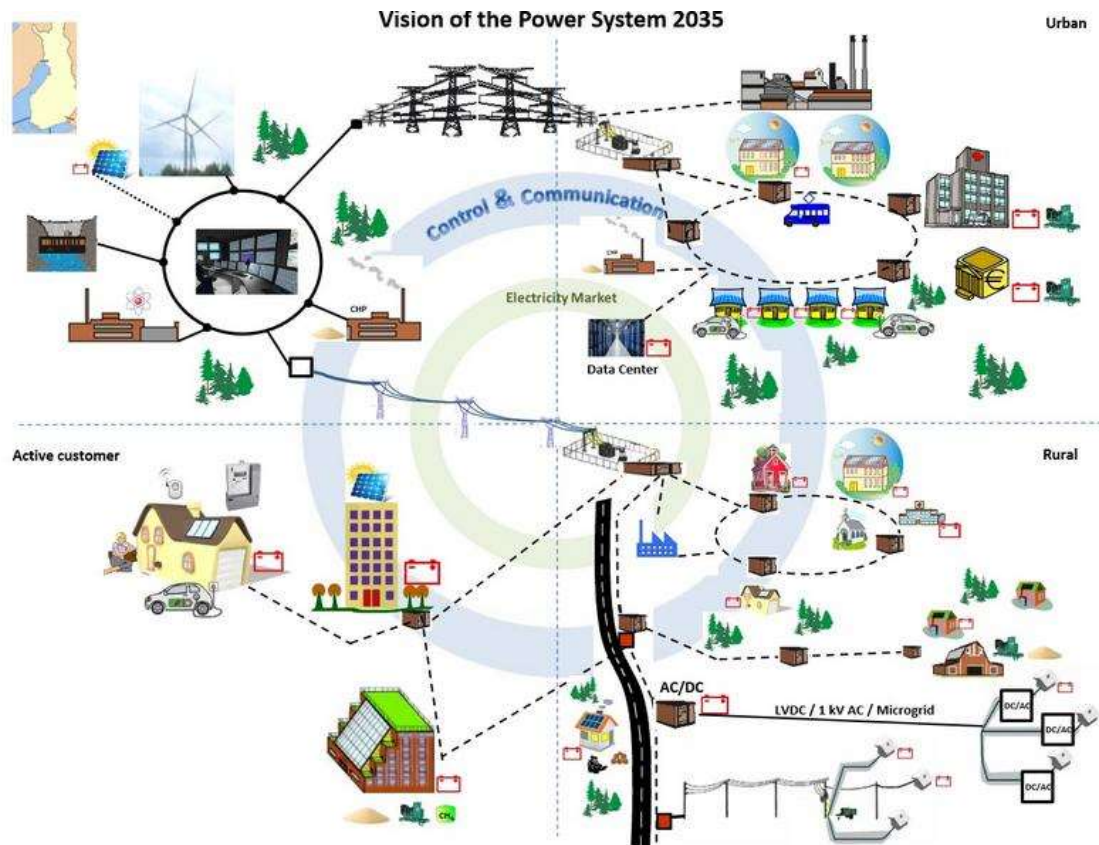
3 Tulevaisuuden muutokset energiajärjestelmässä

3.1 Sähköntuotannon muutokset

Uusien ilmastotoimien vaikutuksesta sähköntuotanto muuttuu vaihtelevammaksi ja riippuvaisemmaksi säästä, jolloin kellonaikaan ja kalenteriin sidottu sähkönkulutuksen aikaohjaus voi osoittautua vanhanaikaiseksi, sillä sähkömarkkinoissa muutokset tapahtuvat aiempaa nopeammin [19]. Vaihtelua tuovat etenkin hajautetut uusiutuvaa energiaa tuottavat laitokset. On tärkeää, että tulevaisuudessa huomattavampi osa sähkönkulutuksesta kykenee reagoimaan nopeasti energiajärjestelmän ylläpitoon. Markkinahinnan muutoksiin mukautuva kulutusjousto on

yhteiskunnalle kustannustehokas sekä ympäristöystävällinen tapa varmistaa toimitusvarmuus sekä ylläpitää tehotasapainoa. Tällöin myös asiakkaan mahdollisuus hyödyntää sähkömarkkinoita paranee. [19.] Asiakkaalle voi syntyä huomattavia säästöjä hinnanvaihtelua hyödynnyttäessä ja mahdollisuus vaikuttaa sähkölaskuun toimii myös hyvänä kannustimena.

Jatkuva tasapaino sähkönkulutuksen ja tuotannonmäärän välillä on sähköjärjestelmän toiminnalle tärkeää. Epätasapainosta syntyy häiriöitä, jotka voivat aiheuttaa suuriakin sähkökatkoja. Vähäpäästöisiä tuotantomuotoja hyödynnetään nykyisin merkittävästi sähköjärjestelmässä, mutta yhteiskunnan energiankäytön kasvu on mahdollistettu suurimmilta osin fossiilipohjaisella lauhdetuotannolla. Niiden avulla on pystytty säätämään tuotantoa kulutuksen mukaan. [20.] Sähkön tuotantorakenteiden muutokset vaikuttavat olennaisesti toimitusvarmuuteen eli sähkön siirtämisen takaamiseen asiakkaille. Viime vuosina Suomesta on poistunut noin 2500 MW säädettävää sähköntuotantokapasiteettia, ja tämä kehitys todennäköisesti jatkuu, johtuen käyttöikänsä päähän tulleista CHP-laitoksista. Lisäksi on suunnitteilla hiilivoimasta luopuminen vuoteen 2030 mennessä tai jopa aikaisemminkin. [19.] Erillistuotannoksi luetaan fossiilisilla ja turpeella tuotettu sähkö silloin, kun samalla ei tuoteta lämpöä. Jos tuotetaan myös lämpöä, kyse on yhteistuotannosta, eli CHP:sta. [21.] Energiajärjestelmää kehitettäessä on tärkeää, että se säilyttää toimintakykynsä vaihtelevissakin tilanteissa. Tähän se tarvitsee joustavuutta esimerkiksi kulutuksen suhteen. Energiankäytön optimoinnin ja ohjauksen ratkaisuilla voidaan käytännön tasolla toteuttaa energiatehokkuuden parantamiseen liittyviä toimenpiteitä.



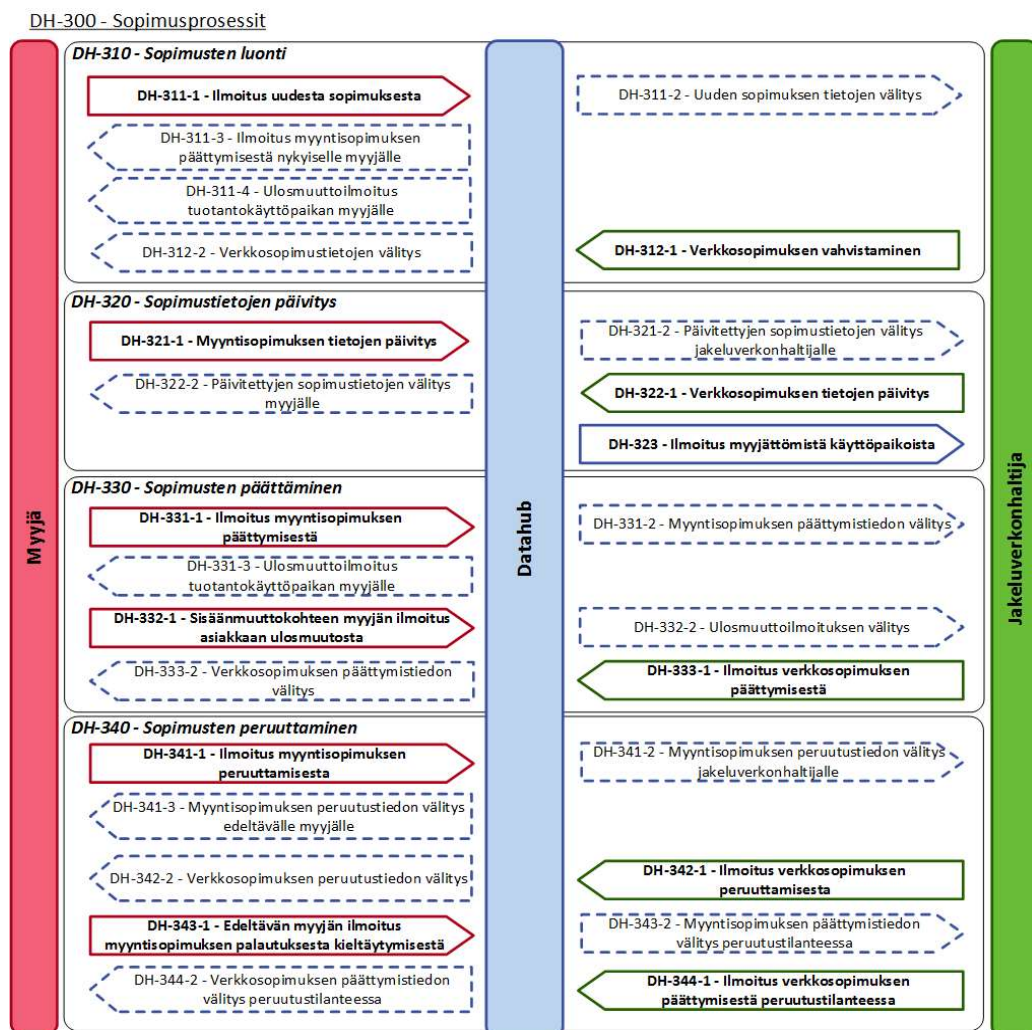
Kuva 3. Tulevaisuuden sähköjärjestelmä [22].

3.2 Datahub

Sähköjärjestelmästä syntyvä tieto halutaan keskittää yhden palvelupohjan alle, jotta sen käsittely nopeutuisi ja helpottuisi. Tämän kaltaista palvelua käyttäisivät sähkönmyyjät sekä jakeluverkkoyhtiöt. Sähkömarkkinoilta saadaan jatkuvasti uutta mittaustietoa. Noin 80 jakeluverkonhaltijalta ja noin 70 sähkönmyyjältä siirretään sähköä noin 3,5 miljoonaan kohteeseen. Mittaustietoa luetaan tunneittain, joten jokaiselta asiakkaalta syntyy 8760 mittaustietokirjettä vuodessa. Määrä voi nelinkertaistua, kun Suomessa siirrytään 2020-luvun alkupuolella 15 minuutin mittausväliin. Lisäksi vuosittain muutetaan noin miljoona kertaa ja vaihdetaan sähkönmyyjää yli 200 000 kertaa. Tämä synnyttää osapuolten välille satoja miljoonia tiedonvaihtosanomaa vuodessa. [23.] Kuvassa 4 havainnollistetaan, kuinka sähkösopimuksen prosessit tehdään Datahubin kautta [24]. Datahubilla pyritään

tietojen käsittelyn tehostamiseen ja sujuvampiin vähittäismarkkinoihin. Palvelu-
alusta tulee sujuvoittamaan tiedonhallintaa, sillä se mahdollistaa esimerkiksi
usean käyttöpaikan sisällyttämisen samaan sähkösopimukseen. [23.]

Lisäksi tiedonhallintajärjestelmän avulla tullaan tekemään taseselvitysten ja ta-
sevirheiden korjausprosessit. Sen avulla loppuasiakas voi valtuuttaa palveluntar-
joajan hakemaan sähkönkulutustietojaan Datahubista ja käyttämään niitä kulu-
tuksen seurantapalveluihin. Myös sähkösopimusten kilpailuttaminen helpottuu.
Jos asiakkaalla on useampi sähkönkäyttöpaikka, voi hän nähdä kaiken kulutuk-
sensa keralla. Tulevaisuudessa kuluttaja voi osallistua Datahubilla kysyntäjous-
toon. Kysyntäjousta hyödyntäen sähkönkäyttöä säädeltäisiin automaattisesti
sähköverkon kuormituksen mukaan. [25.]



Kuva 4. Datahubin sopimusprosessit [24].

Hankintapäätös järjestelmän toimittajasta tapahtui Fingrid Datahub Oy:n toimesta vuonna 2018. Toimittajaksi valikoitui CGI Suomi Oy. Sähkön vähittäismyyjät ja jakeluverkonhaltijat on velvoitettu käyttämään osaa Datahubin palveluita sähkömarkkinalain muutoksen seurauksena. Käytettäviä palveluita ovat muun muassa vähittäismarkkinoiden tiedonvaihto ja sähkökaupan liiketoimintaprosessien tiedonhallinta. Velvoite koskee jakeluverkonhaltijoissa vain sähköverkkoluvan omistajia. Verkkoluvassa nimellisjännite on 110 kV:ta pienempi, joten suurjännitteisen verkonhaltijoita velvoite ei koske. [26.] Käyttöönottoa on päätetty siirtää alkuvuoteen 2022. Alunperäisellä suunnitelmalla käyttöönotto olisi ollut huhtikuussa 2021. Päätös käyttöönottoajankohdan siirtämisestä tehtiin, koska käyttöönottoaikataulu ei olisi onnistunut kaikilta vähittäismyyjiltä ja jakeluverkonhaltijoilta. Vaatimuksena Datahubin käyttöönotolle on kaikkien markkinatoimijoiden yhtäaikainen liittyminen palveluun. [27.]

3.3 Älyverkko

Älyverkolla tulee olemaan suuri rooli tulevaisuuden sähkönsiirrossa, kun pyrkimyksenä on tehokas sähköjärjestelmä. Joustokykyyn ja tehokkuuteen pyrittäessä on verkon kyettävä reagoimaan muuttuvissa tilanteissa. Älykäs sähköverkko koostuu kolmesta osa-alueesta, joita ovat älykkäät etäluettavat sähkömittarit, sähköyhtiöiden ICT-järjestelmät ja sähkönsiirtoverkko. Visioissa älykkäiden sähköverkkojen avulla voitaisiin tuottaa, kuluttaa ja varastoida joustavammin energiaa. Sähköverkossa käytettävä teknologia mahdollistaa uudenlaiset palvelut sähkön kuluttajille sekä tuottajille. Tämän lisäksi optimoitu sähköverkon siirtokapasiteetti voidaan saavuttaa älykästä sähköverkkoa hyödyntämällä. [28.] Esimerkkinä edellä mainittu Datahub, jolla sähkön sopimusprosessit pystyttäisiin järjestämään saman palvelun alle.

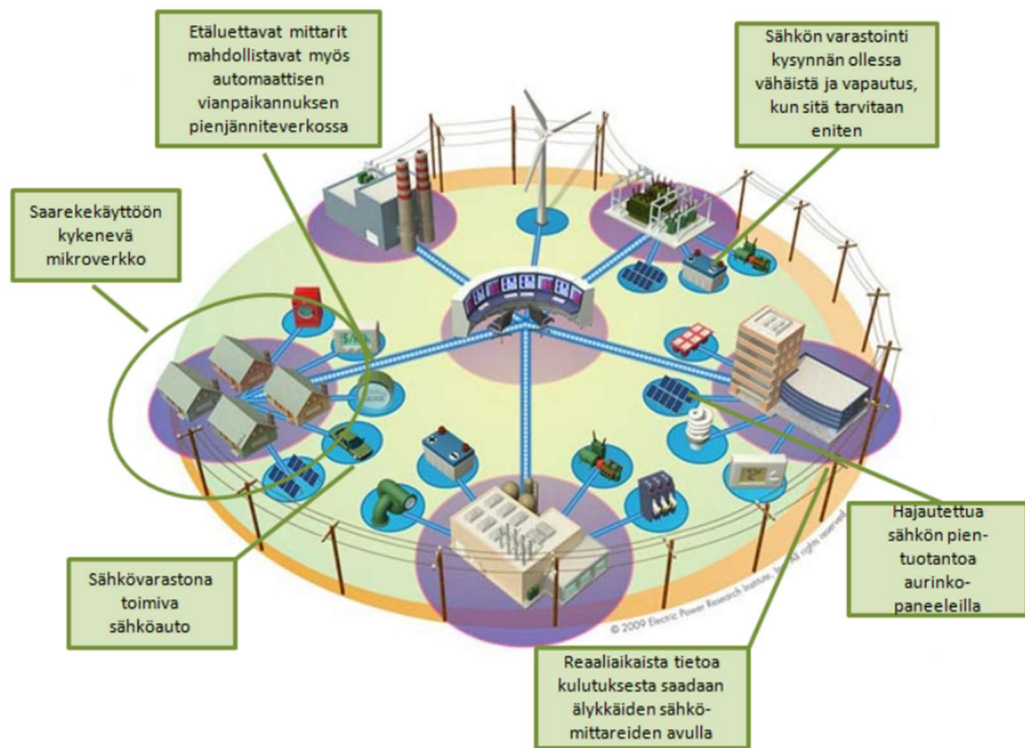
Älykkyyden sähköverkkoon tuo automaatio, jonka myötä luotettavuus ja kannattavuus paranee. Keskitetyn tuotannon tukemiseksi muodostetaan hajautettua uusiutuvaa energiantuotantoa, jolloin pienkuluttajat ja teollisuus pystyisivät tuottamaan energiaa sähkönvähittäismarkkinoille sekä omaan käyttöönsä. Verkon

muuttuessa älykkäämmäksi lisätään siihen uusia teknologioita, joilla saadaan lyhennettyä katkosaikoja ja tehostettua ylläpitoa. Näitä teknologioita ovat esimerkiksi etävalvonta- ja ohjaus ja automaattiset kytkennät. [29.] Sähkömarkkina- laissa veloitetaan verkkoyhtiötä parantamaan sähkönjakelun toimintavarmuutta. Siinä edellytetään, että haja-asutusalueilla ei saisi siirtymäajan jälkeen esiintyä yli 36 tunnin sähkökatkoja pois lukien vapaa-ajan asunnot eli kiinteistöt, joissa ihmiset eivät pääsääntöisesti asu. Asemakaava-alueella vastaava aika on 6 tuntia. Jakeluverkon tulee täyttää vaatimukset joulukuuhun 2028 mennessä. [30.] Tosin erittäin painavista syistä jatkoaikaa voidaan myöntää korkeintaan vuoteen 2036. [31.]

Jos automaation lisäämisellä saataisiin katkosaikoja lyhenemään, voitaisiin osa suurista verkostosaneerauksista ajoittaa pidemmälle ajanjaksolle. Samalla siirto- verkkoyhtiöiden siirtohintojen nostamisen paine laskisi. Lisäksi älyverkkotyö- ryhmä ehdottaa jakeluverkkoyhtiöitä luopumaan kellonaikaan sidotusta kuor- manohjauksesta eli yösähköohjauksesta. Tilalle tulisi markkinaehtoinen kulutuksenohjaus, johon ehdotuksen mukaan siirryttäisiin 30.4.2021. Markki- naehtoinen kulutusjousto loisi uusia kulutusjoustopalveluja, josta asiakas pystyisi valitsemaan itselleen sopivan. [32.] Omalla panoksellaan jakeluverkkoyhtiöt voi- vat nopeuttaa kuluttajien siirtymistä kohti tehokasta sähköjärjestelmää, joka tuot- taisi energiansa puhtaasti.

Älyverkon kehittyminen auttaa uusiutuvan energian käyttöönottamista. Älykkyy- den myötä sähköjärjestelmän edellytykset reagoida energiantuotantoon parane- vat, mikä tulee tarpeen, sillä uusiutuvan energian tuotanto vaihtelee sään mu- kaan. Tarkkailemalla sähkön liikettä kyetään optimoimaan tuotantoa ja kulutusta. Näin pystytään tuottamaan ja kuluttamaan energiaa kannattavimmissa kohteissa. Tämä tukee tavoitetta kustannustehokkaasti rakennetusta ekologisesta sähköjär- jestelmästä. [33.] Hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen tähtäävät politiikantoimet rohkaisevat investoimaan uusiutuvan energian tuotantomuotoihin. Tosin uusi- valla energialla on haasteensa. Aurinko- ja tuulisähkön energiantuotanto on vaih- televaa ja tämä haittaa verkon toimintaa huomattavasti. Reunaehtona toiminnalle on tehotasapaino, jossa tuotanto on kulutuksen kanssa tasapainossa sekuntita- solla. Tasapainoa on hoidettu tuotantoa säätämällä, mutta tulevaisuudessa tämä

ei enää onnistu, kun sääolosuhteet määrittävät tuotannon tason. Ylituotantotilanteissa energiaa on mahdollista varastoida akkuihin, josta sitä voidaan käyttää sähköjärjestelmän tasapainottamiseen tulevaisuudessa. Yksin tällä ei kuitenkaan ratkaista tasapaino-ongelmaa vaan tarvitaan myös kysyntäjoustoa eli sähkön kulutus korreloi tuotannon saatavuuden kanssa, jonka suuntaan energiajärjestelmää ollaankin muokkaamassa. [2.] Sähkönkuluttajan mahdollisuudet vaikuttaa kulutukseen paranevat älyverkon myötä. Vaikutusmahdollisuudet liittyvät esimerkiksi arvovalintoihin energian käytössä sekä sähkönkäytön kokonaiskustannuksiin vaikuttamiseen. [34.] Kuvassa 5 visioidaan mallia, jonka pohjalle älykästä verkkoa voitaisiin toteuttaa.



Kuva 5. Älykäs sähköverkko [35].

3.4 Teollinen internet sähköjärjestelmän näkökulmasta

Internetin avulla energiajärjestelmässä tieto voidaan siirtää eri toimijoille, jolloin siitä käytetään käsitettä teollinen internet. Sillä tarkoitetaan fyysisen ja digitaalisen maailman liittämistä yhteen. Fyysistä maailmaa ovat konkreettiset tuotteet, kuten koneet ja laitteet, sekä niissä olevat sensorit. Fyysinen maailma liitetään

digitaaliseen, kun dataa siirretään fyysisestä digitaaliseen. Digitaalisessa maailmassa sijaitsevat eri tietolähteistä kerätty data, pilvialusta sekä data-analytiikka. Näiden päälle rakentuvat ohjelmistot, käyttöliittymät ja ohjelmistopohjaiset palvelut. Fyysisen ja digitaalisen maailman yhdistelmä muodostaa siihen kytketyistä tuotteista ja palveluista älykkäitä. [33.] Älyverkon toiminta perustuukin toimivaan teolliseen internettiin. Teollisella internetillä luodaan paljon mahdollisuuksia uusille toimintamalleille ja sen avulla niistä saadaan ajantasaisia.

Valtioneuvosto asetti vuonna 2009 tavoitteen, jonka mukaan 80 % kaikista verkonhaltijan käyttöpaikoista olisi tuntimittauksen piirissä vuoden 2013 loppuun mennessä. [36.] Asetuksen ansiosta suurin osa Suomen sähkömittareista on ollut jo vuosia etäluettavia ja täten ovat teollisen internetin edelläkävijöitä, muodostaen Suomen suurimman verkkoon liitettyjen laitteiden kokonaisuuden. Energian tuotannossa ja jakelussa teollisen internetin välineistö auttaa parantamaan muun muassa tuotantotehoa ja -varmuutta sekä ympäristöystävällisyyttä. Ratkaisuilla yksittäinen voimalaitos voi optimoida energiantuotantoa ja polttoaineiden käyttöä. Teollinen internet helpottaa hajautetun sähköntuotantojärjestelmän luomista. Se tulee tarpeelliseksi rakennettaessa uusiutuvan energian pienvoimalaitoksia. Laajasti anturoitu sähköverkko tunnistaisi automaattisesti säästä johtuvan tuotantotilanteen vaihtelun ja käynnistäisi lisätuotannon. Sähköverkon kunnossapidossa teollinen internet auttaisi paikantamaan häiriön aiheuttajan, jos sähköverkko olisi varustettu suurella joukolla antureita. Niiden avulla voitaisiin saada jo ennakkoonkin tieto vaurioituvasta muuntajasta. [33.] Tähän viitattiin myös älykästä sähköverkkoa käsittelevässä kappaleessa. Maakaapeloinneilta voitaisiin siis jopa välttyä, jos anturitekniikan avulla katkosaikoja saataisiin lyhennettyä. Käyttämällä tietoverkkoja tiedon välittäminen onnistuu lähes reaaliaikaisesti. Näin tieto voidaan käsitellä ja analysoida tehokkaammin. Analysoitu tieto taas voidaan hyödyntää laitteen omistajien, käyttäjien sekä palvelutarjoajien kesken. [37.]

Teollisen internetin keskeisimmät tavoitteet ovat liiketoiminnan tehostaminen sekä pääoman tehokas käyttö. Lisäksi sen avulla voidaan kehittää tuotteita ja palveluita älykkäämmiksi lisäämällä niihin uusia ominaisuuksia ja kehittämällä

käytettävyyttä. Kehityksen myötä pystytään lisäämään asiakasarvoa ja sen myötä myös liikevaihtoa. [37.] Uusien ratkaisujen käyttöönotolla voidaan nostaa siirtoverkon arvoa. Kehitystyön aikana sähköverkkoyhtiöiden on mahdollista muokata verkkoa palvelemaan asiakkaiden halukkuutta osallistua sähkömarkkinoille omalla tuotannollaan.

3.5 Kysyntäjousto

Kysyntäjoustossa sähkönkäyttö ajoitetaan hetkeen, jolloin tuotantokustannukset ovat matalat. Sillä pyritään tasoittamaan kulutusta ja kohdentamaan sitä järkevämmiin. [38.] Joustavammalla kysynnällä voidaan kulutus ajoittaa edullisemmille tunneille, jolloin kulutuksella kyetään vaikuttamaan hinnanmuodostukseen, sillä sähkönhinta määräytyy kulutuksen ja tuotannon perusteella. Kulutuksen las-
kiessa myös hinta laskisi. Samalla turvataan myös tehon riittävyys. Normaalitilanteessa kulutuksen vähentäminen pienentää kapasiteetintarvetta sähköntuotannossa ja sähköverkossa. [39.] Asiakkaan näkökulmasta aihetta käsitellään myöhemmin.

Käyttämällä kysyntäjoustoa voidaan kustannustehokkaasti parantaa sähköjärjestelmän resurssitehokkuutta ja luotettavuutta. Sen avulla voidaan lisätä uusiutuvaa energiantuotantoa, vähentää säätövoiman tarvetta sekä välttää investointeja voimalaitoksiin, joita käytettäisiin vain säätökapasiteettiin. [39.] Suurin osa teollisuuden suurista sähkökuluttajista on jo mukana kysyntäjoustossa, kuten metsäteollisuuden sadat säädettävät megawattikuormat. Siitä on jo merkittävin määrin hyödynnetty säätösähkömarkkinoilla sekä häiriöreservin ylläpidossa. Teollisuudesta voidaan löytää uusiakin joustokohteita, kuten rakennusten lämmitys ja viilennys. [40.]

Asuinrakennuksissa kysyntäjoustoa voidaan käyttää parhaiten kohteissa, joissa varastoidaan energiaa. Varastointikohteita voivat olla esimerkiksi sähkölämmitys, käyttövedenlämmitys ja lämpöpumppu. [39.] Lämminvesivaraajien potentiaali

voidaan hyödyntää asentamalla niihin automaatiota ja kysyntäjoustoon sopiva laitteistoa. Kysyntäjousto voidaan myös yhdistää omaan tuotantoon. [40.] Kysyntäjousto tarvitsee toimiakseen kannustimia, joista merkittävin on rahallinen hyötyminen sähkölaskussa. Sähköisellä liikenteellä voidaan myös osallistua kysyntäjoustoon. Lataustehoa pystytään tilanteen mukaisesti laskemaan tai nostamaan sekä palauttamaan kaksisuuntaisen latauksen avulla sähköä takaisin verkkoon. Kaksisuuntaisella latauksella mahdollistetaan sähkön kulkeminen kahden suuntaan eli akkuun lataamisen tai palauttamisen takaisin sähköverkkoon. Tekniikan yleistyminen vaatii vielä kehitystä esimerkiksi latauslaitteiden ja sähköautojen keskinäisen toiminnan suhteen. [41.] Muun muassa Rovaniemelle on avattu kaksisuuntainen sähköautojen latausasema Napapiirin Energian ja Vesi Oy:n toimesta [42]. Sähköauton omistajille tarvitaan kannustimia, jotta he osallistuisivat kysyntäjoustoon. Hinnan lisäksi tekniikalta tullaan luultavimmin vaatimaan helppokäyttöisyyttä ja automatiikkaa.

3.6 Sähkönkulutuksen tehopohjainen laskutus

Osa verkkoyhtiöistä on siirtymässä kohti tehopohjaista laskutusta. Tehoon perustuvassa siirtohinnoittelussa osa sähkönsiirtomaksusta veloitetaan tehonkäyttöön perustuen. [43.] Sähköasiakkaille halutaan tulevaisuudessa paremmat mahdollisuudet vaikuttaa siirtolaskuunsa TEM:n älyverkkotyöryhmän mukaan. Sen halutaan myös olevan syrjimätön ja tasapuolinen. Tällä hetkellä enemmistö maksuista on energiaperusteisia tai kiinteitä perusmaksuja. Suurin osa verkkoyhtiöiden kulueristä tulee kuitenkin verkkoinfran rakentamisesta ja ylläpidosta, sillä jakeluverkot mitoitetaan huipputehon mukaan. Useat verkkoyhtiöt ovat näistä syistä nostaneet perusmaksun osuutta. [20.] Tehoperustaisella hinnoittelulla tavoitellaan pienempää kulutuksen huipputehoa. Tällöin voidaan välttyä jakeluverkon vahvistamiselta. Se myös parantaa järjestelmän toimitusvarmuutta ja kannustaa kysyntäjoustoon. Tehokomponentti oikeilla siirtohinnoittelukustannuksilla vastaisi paremmin verkonkustannuksia kuin energiaperusteinen hinnoittelu. [20.]

Mittaustapoja ovat esimerkiksi kuukausittainen tai vuosittainen huipputeho. Tehorajassa taas asiakas maksaisi tehon tarpeensa mukaisesti. Puolestaan porrastariffissa energiamaksu muodostuisi tehon käytöstä määrättyä aikana. [43.] Kiinteän maksun korvaaminen tehokomponentilla saa älyverkkotyöryhmältä vihreää valoa. Komponentin avulla asiakkaalla tulee olemaan mahdollisuus vaikuttaa paremmin siirtolaskuunsa. Muutos pyritään tekemään hallitusti siten, ettei maksuihin syntyisi huomattavia kertakorotuksia. [20.]

Lämmitysjärjestelmät, sähkökuuas, käyttöveden lämmitys ja mahdollinen sähköauton lataus vaikuttavat eniten pientalon sähkötehon suuruuteen ja vaihteluun. Energiatehokkaissa pientaloissa tehonvaihtelut ovat muuttuneet suuremmiksi. Uusista laitevalinnoista ja lämmitystavoista johtuen myös sähköteho on voinut kasvaa. Esimerkiksi lämpöpumppuratkaisut ovat korvanneet suoraa sähkölämmitystä ja muita lämmönlähteitä. [44.] Älyverkkotyöryhmän mukaan aikaohjauksesta luovuttaisiin viimeistään 30.4.2021. [19.] Laadukkaasti toteutetulla sähkösuunnittelulla, joka tuntee asiakkaan energian käyttötottumukset, voidaan sähkökuormia ajoittaa eri hetkiin ja näin estää huipputehon nousua korkeaksi.

3.7 Sähkövarastojen hyödyntäminen

Uutena elementtinä sähkömarkkinoille ovat tulossa sähkövarastot. Sähkövarasto ottaa tietyllä ajan hetkellä verkosta sähköä ja jakaa sen myöhemmin takaisin sähköverkon siirrettäväksi. Yleensä niillä voidaan tarjota palveluita erilaisiin tarpeisiin, kuten oman tuotannon ja kulutuksen maksimointiin, valtakunnallisen tehota-sapainon hallintaan tai verkonhallintaan. Sähkövarastojen kannattavuus syntyy niiden monipuolisesta käytöstä. Niillä voidaan hyödyntää hinnan vaihtelua energiamarkkinoilla, säätää taajuutta, optimoida omaa kulutusta tai tuotantoa, parantaa toimintavarmuutta paikallisesti ja tukea jännitettä. [7.] Sähköä voidaan varastoida sähköenergiana akuissa tai toisessa muodossa esimerkiksi potentiaalienergiana pumppuvoimalaitoksissa. [45.] Potentiaalienergiaa muodostuu, kun esimerkiksi vettä nostetaan korkeammalle gravitaatiokentässä.

Akkuteollisuus panostaa sähköautoihin, joita voidaan hyödyntää sähkövarastoina. Järjestelmän kehittyessä ja autojen määrän lisääntyessä lataus pystytäisiin sovittamaan sähköjärjestelmän tarpeisiin. Esimerkiksi kun tuulisähköä on tarjolla, ladataan autoja ja päinvastaisessa tilanteessa luovutetaan teho takaisin järjestelmään. [46.] Sähkön varastoinnille tulee olemaan tulevaisuudessa yhä suurempi tarve, kun on pystyttävä tasapainottamaan uusiutuvan energian tuottama vaihtelu verkossa. Arvion mukaan sähköisen liikenteen ja sähkövarastoinnin tarve tulee olemaan 4584 GWh vuonna 2040. [47.] Tämän myötä autojen latauspisteitä tullaan rakentamaan kiihtyvässä tahdissa ja näin liikenne tulee olemaan yhä suuremmassa yhteydessä sähköjärjestelmään. Polttomoottorien väheneminen taas alentaisi ilmakehään vapautuvia kasvihuonepäästöjä.

Rakennuksissa suoritettavien energiaremonttien yhteydessä pyritään alentamaan ostoenergian määrää. Sen yhteydessä kuitenkin sähkönkulutus ja etenkin huipputeho voivat kasvaa huomattavasti, jos kohteessa käytetään esimerkiksi erilaisia lämpöpumppuratkaisuja. Huipputehon alentaminen akun avulla tulee tällöin kannattavaksi, jos verkkoyhtiöllä on käytössä tehoon perustuva hintakomponentti. Akkujen hintojen uskotaan laskevan tulevaisuudessa. Tekniikan kehittyessä ja hintojen ollessa korkealla voitaisiin sähkövarastointia tukea aluksi taloudellisesti esimerkiksi valtion taholta. [48.] Sähkövaraston avulla voidaan vähentää sähkökatkoksesta johtuvia haittavaikutuksia.

3.8 Tiedonhallinta

Tiedonhallinnan avulla voidaan tuoda sähköjärjestelmään uudenlaisia toimintoja. Tekoälyn ja analytiikan kehittyessä pystytään palveluita muokkaamaan joustavammin. Internettiä hyödyntäen tieto saadaan myös reaaliaikaisesti käyttöön ja sen pohjalle voidaan luoda uusia toimintamalleja. Tulevaisuudessa sähkön hinnan vaihteluihin perustuvan kulutusjouston yleistyessä on jakeluverkkojen toimintaa kehitettävä. Pystyäkseen takaamaan sähköturvallisuuden ja verkon tehokkaan käytön tarvitsee sähköverkkoyhtiö ennustetiedon sähkönkulutuksesta sekä tuotannosta. [19.] Tietoa saadaan myös laitteistoista, koska lähitulevaisuudessa

suurin osa sähkölaitteista, mikrotuotannosta ja sähkövarastoista tulee olemaan liitettävissä esineiden internettiin. [49.] Esineiden internetissä laitteet välittävät tietoa pilvipalveluihin, jossa tieto voidaan analysoida ja käyttää [33]. Laitteita pystyttäisiin ohjaamaan energijärjestelmää hyödyttäen ja käyttämään tehotasapainon ja tehopulatilanteiden hallintaa [49].

Ensimmäinen askel sähköverkon digitalisaatioon oli etäluennan käyttöönotto. Kulutus- ja laatu tiedot kerätään älykkäillä mittareilla, joista tieto johdetaan etäluentajärjestelmiin. Etäluentajärjestelmästä tieto taas siirretään energiyhtiöiden laskutus- ja asiakastietojärjestelmiin. Digitalisaation kehittyessä mittarit tulevat toimimaan etäluennan lisäksi myös muiden laitteiden ja järjestelmien kanssa. Näin laitteista syntyy yhtenäisiä järjestelmiä, jotka liittyvät toisiinsa verkon avulla. Tiedon käsittelystä siirrytään tiedon hyödyntämiseen. Datasta saadulla tiedolla kyetään tekemään analyyskejä ja suunnitelmia, joilla päästään parempaan energiatehokkuuteen. [50.]

Datan jakamista tarvitaan yksittäisten koneiden ja yritysten välillä, jotta täysin digitalisoitu ekosysteemi toimisi. Järjestelmät ja sovellukset onkin saatava toimimaan keskenään, jotta niistä saataisiin irti maksimaalinen hyöty. [33.] Datanhallinta liittyy kiinteästi älyverkkoon. Laitteiden tullessa älykkäämmiksi lisääntyy myös kerättävän datan määrä. Sähkömarkkinoilla toiminta on nopeaa, joten tiedonhallinnalta vaaditaan tehokkuutta. Tiedonhallinnan avulla saadaan asiakkaille tarjottua monipuolisemmin mahdollisuuksia osallistua energiamarkkinoihin. Valinnoissa voi suosia esimerkiksi arvovalintoja tai valita palvelut helppokäyttöisyyden perusteella. [51.]

Tietoturva ja yhteen toimivuus ovat toimijoiden kannalta erittäin tärkeitä teollisessa internetissä. Ratkaisujen tulee olla myös kestäviä. Perustavanlaatuinen ongelma on se, että järjestelmän on toimittava myös ilman internetyhteyttä. Energijärjestelmää tulee lähteä kehittämään riittävällä kyberturvallisuustasolla niin, että osapuolien luottamus säilyy. Alusta lähtien on huomioitava markkinoille osallistuvien osapuolien, järjestelmien ja tietoliikenneyhteysien kyberturvallisuusnä-

kökulma. Sähköjärjestelmän muuttuessa yhä useampi internettiin kytketty etäohjattava laite osallistuu sähkömarkkinoille ja tietoturvan puuttuessa muodostaa näin merkittävän uhan. Pahimmassa tapauksessa puutteellinen tietoturva voi aiheuttaa haittaa koko yhteiskunnalle. [7.]

4 Asiakkaan energiankäytön optimointi

4.1 Sähkön hankinta joustavasti markkinoilta

Yksityisten sähkön pienkuluttajien sähkön osto tapahtuu vähittäismarkkinoilta. Sähkön hinnan lisäksi kuluttajan on maksettava siirtomaksu sekä vero. Kuluttajan ja sähkön myyjän välillä tehdyssä sähkönmyyntisopimuksessa sovitaan sähköenergian hinta tai sen määräytymisperiaatteet. [52.] Sähkönsiirto tapahtuu yhtiön toimesta, joka omistaa alueen sähkönsiirtoverkon, eikä sitä tällöin voi kilpailuttaa, mutta puolestaan sähköä myyvän yhtiön asiakas pystyy kilpailuttamaan. Hinnan lisäksi asiakas voi vaikuttaa sähkön alkuperään sekä muokata hinnoittelun perusteet oman kulutuksensa mukaiseksi. Tämä tapahtuu valitsemalla esimerkiksi pörssisähköön sidonnaisen sähkönhinnoittelun. Energiajärjestelmän kehittyessä teknologian ja uusien kulutustottumuksien myötä tulevat hinnoittelu vaihtoehdot lisääntymään. Lisäksi voidaan tuoda uusia palveluja, joissa hinnanseuranta tapahtuu kolmannen osapuolen toimesta.

Sähköjärjestelmän tulevat muutokset lisäävät kuluttajan roolia. Ostopäätöksillään kuluttaja pystyy osallistumaan ilmastonmuutoksen torjuntaan sekä voi hyötyä sähkönkulutuksen joustosta taloudellisesti. Eritoten sähkölämmitteisissä talouksissa on mahdollisuus osallistua käynnissä olevaan energiamurrokseen. Lisää joustomahdollisuuksia saadaan myös sähköautojen yleistyessä. Nykyisinkin osa kuluttajista seuraa sähkön hintaa ja kuluttaa halvimmilla tunneilla. [53.] Tämä on näkynyt markkinahintaa seuraavien sähkönpörssihintaisten sopimuksien suosion kasvuna. Kasvu on johtunut asiakkaan mahdollisuudesta ajoittaa sähkönkäyt-

tönsä hinnaltaan halvimpaan ajankohtaan ja näin säästää sähkölaskussaan. Lisäksi automaation kehittyessä sähkön käytön ajoittaminen on muuttunut vaivattomammaksi. [52.] Sähköpörssissä sähkönhinta muodostuu kysynnän ja tarjonnan mukaisesti ja hinta voi vaihdella voimakkaasti vuorokauden sekä kuukausien mittaan. Vaihtelua syntyy, kun sähköntuottajat ja kuluttajat etsivät itselleen otollisimpia kaupankäyntihetkiä. Pidemmällä tähtäimellä halvin sähkö löytyy aina sähköpörssiin perustuvasta hinnoittelusta. [54.] Uutena markkinoille on suunnitteilla mahdollisuus, jossa kuluttaja pystyy antamaan sähkön kulutuksen ohjauksen sähkönmyyjille tai muille palvelun tarjoajille. Kulutuksen ohjaajat säätäisivät sähkönkäyttöä järkevästi hinnan kehityksen mukaisesti. [53.]

Sähkömarkkinoille on suunnitteilla tuoda uusi riippumaton palveluntarjoaja, joka ei olisi sähkönmyyjä tai tasevastaava. Esimerkiksi älyverkkotyöryhmän loppuraportissa suositeltiin itsenäisen aggregoinnin sallimista kaikille markkinapaikoille. Aggregoinnilla tarkoitetaan pienempien sähköntuotanto-, kulutus- ja varastointikohteiden kokoamista suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Uuden toimintamallin avulla pienillä asiakkailakin olisi mahdollista osallistua sähkömarkkinoihin. Aggregaattori toimisi joustopalvelun tarjoajana, jossa kulutusta vähennettäisiin kulutushuippujen ja korkean hinnan aikana. Toimilla voitaisiin parantaa toimintavarmuutta ja tehokkuutta sekä alentaa sähkönkäyttäjien kustannuksia. Lisäksi suuria ohjattavia kuormia omaaville asiakkaille ehdotetaan älyverkkotyöryhmän toimesta, kuormanohjauksen sisällyttämistä seuraavan sukupolven älymittareihin. Näin saataisiin nykyiset yö sähkönohjauksessa olevat asiakkaat mukaan kulutusjoustoon. Mittareiden kautta ohjattava kuorma on työryhmän mukaan nykyisin noin 1800 MW. [32.] Uusilla toimilla saataisiin sähkönkäyttäjiä aktivoitumaan joustavaan sähkönkulutukseen, jossa olisi mahdollista säästää sähkölaskussa. Uusilla palveluntarjoajilla sekä ohjausmahdollisuuksilla asiakas voisi antaa sähkön ohjauksen kolmannen osapuolen hallintaan ja osallistua sen myötä sähkömarkkinoille.

4.2 Sähkölaitteiden ohjaus kiinteistössä

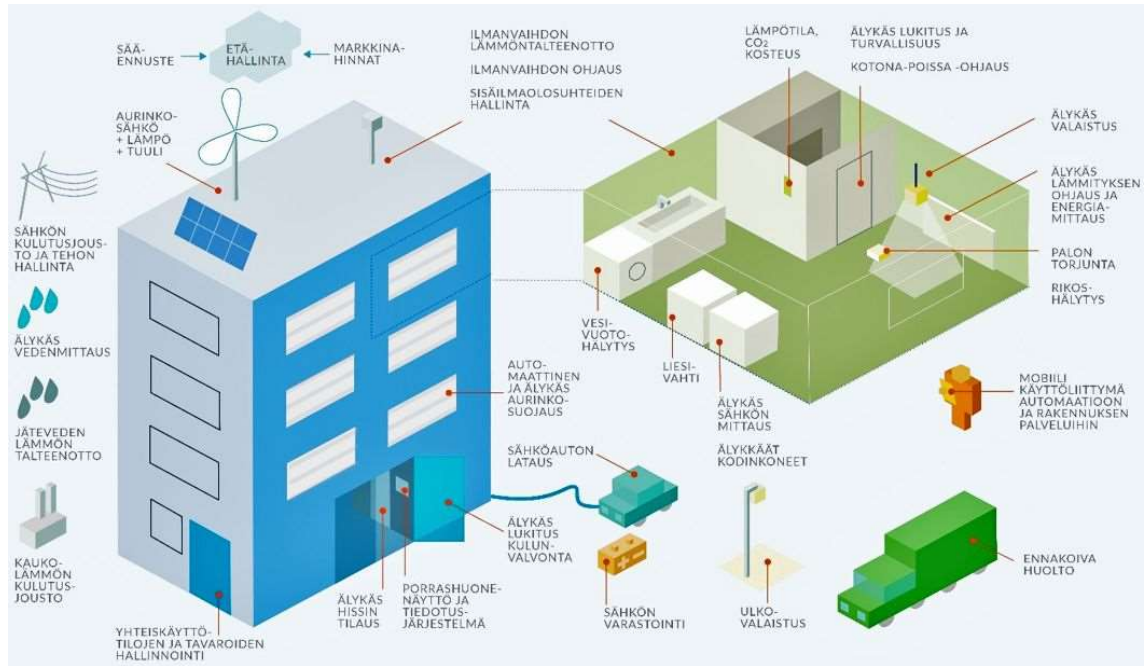
Kiinteistön sisäistä kulutusta pystytään ohjaamaan ja hallinnoimaan helppokäyttöisesti rakennusautomaatiolla. Sen avulla pystytään valvomaan, mittaamaan ja ohjaamaan koko kiinteistön sähköisiä toimilaitteita. Näitä ovat muun muassa valaistus, lämmitys, jäähdytys, ilmanvaihto ja kulunvalvonta. Automaation kautta toteutetuilla ohjaus- ja säätötavoilla pystytään parantamaan rakennusten energiatehokkuutta, terveellisyttä ja käyttömukavuutta. Sen rooli tulee kasvamaan tulevaisuudessa, johtuen uusista energiatehokkuusmääräyksistä. [2.] Keväällä 2018 muuttuneen direktiivin mukaan rakennus on varustettava rakennusautomaatio- ja ohjausjärjestelmällä vuoteen 2025 mennessä, kunhan se on taloudellisesti ja teknisesti mahdollista toteuttaa. Direktiivi ei koske asuinrakennuksia, joissa lämmitys- tai ilmastointijärjestelmien tai yhdistettyjen lämmitys/ilmavaihto- tai ilmastointi/ilmanvaihtojärjestelmien nimellisteho on yli 290 kW. [19.]

Nykyisten rakennusten energiatehokkuuteen halutaan parannusta, koska niissä piilee merkittävää energiansäästöpotentiaalia. Tarpeettomalla energiankäytöllä voidaan säästää rahaa asuinmukavuudesta tinkimättä, kuten valaistuksen ohjauksessa käytettävällä liiketunnistuksella taloyhtiöiden yhteisissä tiloissa. Piha-alueilla ohjaus voidaan taas suorittaa hämärä- tai kello-ohjauksella. Huoneistoissa ohjaus tapahtuu tilatietojen mukaisesti. Tämä vähentäisi turhaa valaistusta. [55.] Käyttämällä ledivalaistusta voidaan vähentää valaistuksen energiankulutusta vielä 30 %. [2.] Kuvassa 6 on kuvattu toimintoja, joita asuinympäristöön automaation myötä voidaan hankkia [56]. Energiantehokkuuteen voidaan myös vaikuttaa rakenteellisilla korjauksilla, kuten saneeraamalla ikkunat tiiviimmäksi tai hankkimalla sälekaihtimet.

Tulevaisuudessa olisi hyvä, että sähkönkäytöltään suuret laitteet ohjattaisiin automaation avulla hetkeen, jolloin energia olisi edullista ja sitä olisi saatavilla riittävästi. Älykkyyttä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi lämminvesivaraajaan tai mahdollisen sähköauton lataukseen. Rakennukset myös yhdistyvät

energiaverkostoihin ja osallistuvat halutessaan jakeluverkon toimintaan kysynnänjouston avulla. [2.] Niitä voidaan lisäksi online-hallita internetin ja digitaalisten ratkaisujen kautta. Rakennuksen tilasta voidaan toimittaa tietoa, kuten voidaanko energiankulutusta lisätä tai laskea. Ohjaus tapahtuisi sähkön hinnan kehityksen mukaisesti. Markkinoille tulon kynnystä ollaan madaltamassa, jotta kulutusjoustossa oleva potentiaali saataisiin hyödynnettyä. Tosin ohjattavissa olevista kulutuksen jakautumisesta sekä sähkökuormista tarvitaan yksityiskohtaista tietoa, jotta aluekohtainen sähkönkulutuksen tasapainottaminen onnistuu. Itsenäisen aggregoinnin mahdollistuttua voidaan sen avulla yksittäiset kiinteistöt liittää yhdeksi kokonaisuudeksi. Esimerkiksi Saksasta ja Ranskasta löytyy jo toimijoita, jotka myyvät vain edustamiensa sähkönkäyttäjien säädettävää kuormaa säätövoimamarkkinoille. [57.]

Energian kokonaiskulutuksen lisäksi rakennuksissa on huomioitava myös hetkellinen sähköteho. Sähköautojen latauspisteiden yleistyessä myös sähkönkäyttö muuttuu. Tulevaisuudessa olisi hyvä taata mahdollisuus hallita sähkötehoa etenkin, jos laskutus siirtyy tehopohjaiseen malliin. [7.] Sähkölaitteiden ohjauksella voidaan parantaa asuinmukavuutta helppokäyttöisyystoimintojen avulla. Esimerkiksi mobiilisovellusten avulla voidaan ajastaa toimintoja etänä, kuten säätää asunnon lämpötilaa ennen paikalle saapumista. Lämpötila voidaan taas pitää matalampana, kun paikalla ei ole asukkaita.



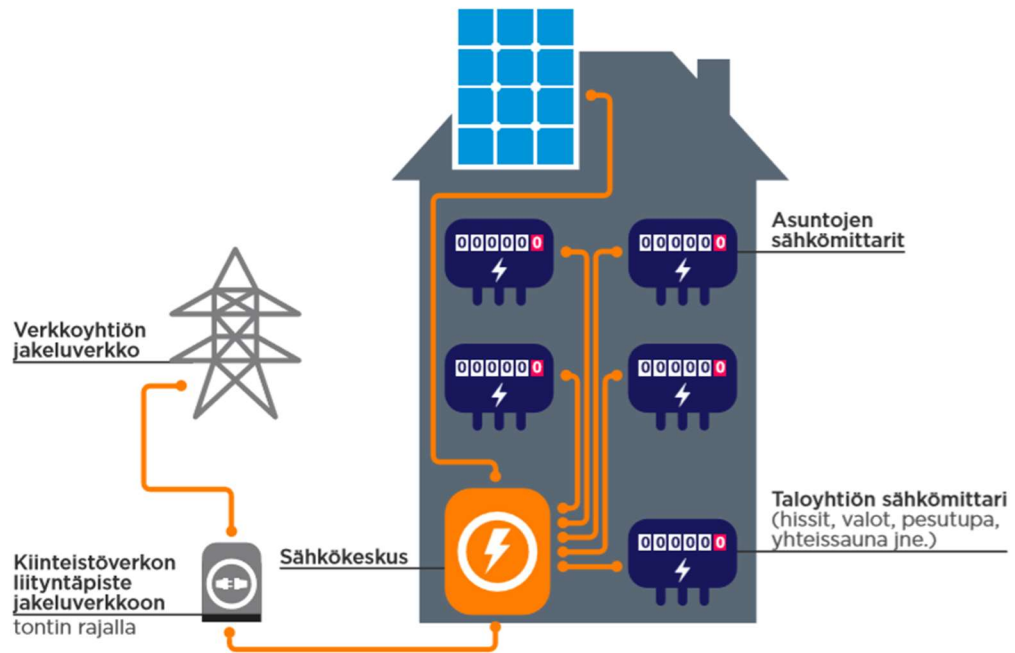
Kuva 6. Asuinrakennuksen automaatio [56].

4.3 Energiayhteisöt pientuotannon näkökulmasta

Kiinteistöjen oma sähköntuotanto on kasvanut viimeisten vuosien aikana. Esimerkiksi aurinkosähköön päädytään kesämökeillä sähköverkkoon liittymisen sijasta. Pientuotannoksi lasketaan kaikki nimellisteholtaan enintään 2 MVA:n tuotantolaitokset. Suurimman hyödyn pientuottaja saa, kun verkosta hankitun sähkön määrä pienenee. Tuotanto perustuu yleensä uusiutuviin energialähteisiin. [58.] Sähköverkkoon liitetyn pientuotannon kapasiteetti oli vuonna 2018 noin 201 MW ja kasvua sillä oli 37 %. Noin 60 % siitä tuotettiin aurinkosähköllä. [59.] Tämän on voinut huomata katoille ilmestyneiden aurinkopaneeleiden määrästä. Pitkällä aikavälillä aurinkosähkö nähdään kannattavana investointina ja aurinkopaneelien mahdollinen hinnanlasku lisää kannattavuutta. Aurinkosähkön rinnalle saattaa olla myös kannattavaa hankkia akusto. Varastoimalla energiaa akustoihin, voidaan tuotettu sähkö ottaa talteen ja pienentää verkkoon syötettävän ylijäämänsähkömäärää ja sen kannattavuuden uskotaan kasvavan energiayhteisöissä. Akustoa voitaisiin käyttää huipputehon alentamiseen, sähkön markkinahintaan perustuvaan ohjaukseen sekä käyttää varavoimana mahdollisen sähkökatkon hetkenä. Energian varastointi kiinteistöissä on kuitenkin vielä kehitysasteella ja akkuvarastojen hinnat ovat vielä korkeita. Akusto tarvitsee

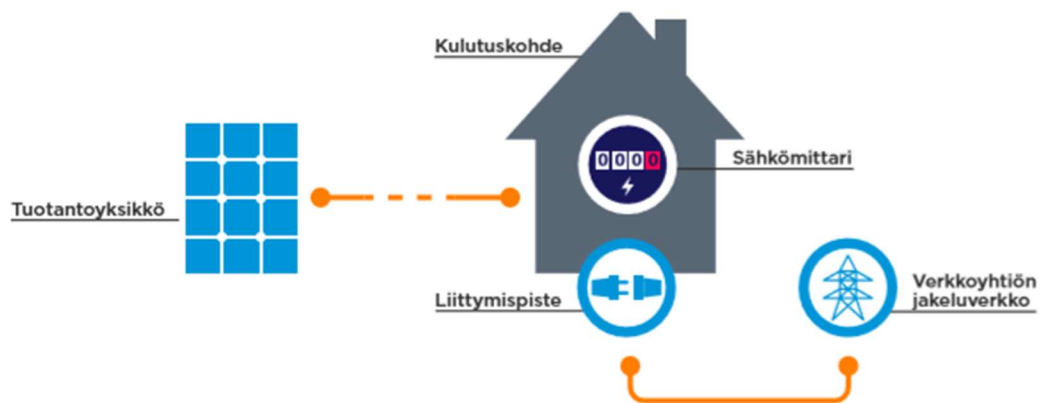
myös kehitetyn ohjausjärjestelmän, jolla voidaan ennustaa tulevaa tuotantoa sekä kulutusta. Asuinkiinteistöissä toimiessa on myös otettava huomioon turvallisuus akustoa sijoittaessa. Erityisesti litiumakuissa piilee paloturvallisuusriski, litiumin reagoiessa voimakkaasti veden kanssa. On myös otettava huomioon riski akun rikkoutumisesta, johtuen viasta tai puutteellisesta ohjauksesta. [48.] Akuston avulla voitaisiin tulevaisuudessa varastoida sähköä sen ollessa edullista ja puolestaan hyödyntää varastointia markkinasähkön hinnan ollessa korkea. Aurinkojärjestelmän rinnalle rakennettuun akustoon tapahtuva edullisen sähkön varastointi keskittyisi luultavimmin talviaikaan, oman tuotannon ollessa silloin vähäistä.

Tällä hetkellä pientuotannon kannattava hyödyntäminen asunto-osakeyhtiöissä on haastavaa, mikä laskee kysyntää hajautettuihin energiaratkaisuihin. Kiinteistössä tuotettu ja kulutettu sähkö kiertää yksittäisen asiakkaan sähkömittarin kautta ja siitä joudutaan maksamaan verkkopalvelumaksu sähköyhtiölle sekä sähkövero. Eli tuotettu sähkö joudutaan myymään sähkömarkkinoille ja ostamaan takaisin kiinteistön käyttöön. Näin kiinteistössä tuotetun sähkön kannattavuus huononee. Älyverkkotyöryhmän raportin mukaan tähän pyritään kuitenkin saamaan muutosta ja heidän mukaansa kiinteistön sisällä tuotetusta energiasta, joka ei ylitä liittymispistettä, ei tarvitsisi maksaa verkkopalvelumaksua. [19.] Yksi keinoista on energiayhteisö, jossa pientuottajat kootaan yhteen. Energiayhteisöissä voidaan esimerkiksi hyödyntää kerrostalon kattoja aurinkosähköntuotannossa ja jakaa sen hyödyt yhteisesti. [60.] Tätä havainnollistetaan esimerkiksi kuvassa 7 [7]. Energiayhteisöjä koskevaa lainsäädäntöä pyritään kehittämään niin, että osakkaat saavat täyden hyödyn tuottamastaan sähköstä. Yksi tavoista on hyvityslaskenta. Mallissa voimaloiden tuotanto jaettaisiin osakkaiden kesken ja vähennettäisiin ostosähkön määrästä. Tuotannon ylittäessä kulutuksen laskettaisiin se tuotannoksi jakeluverkkoon. Hyvityslaskenta voitaisiin suorittaa Datahubissa. [61.]



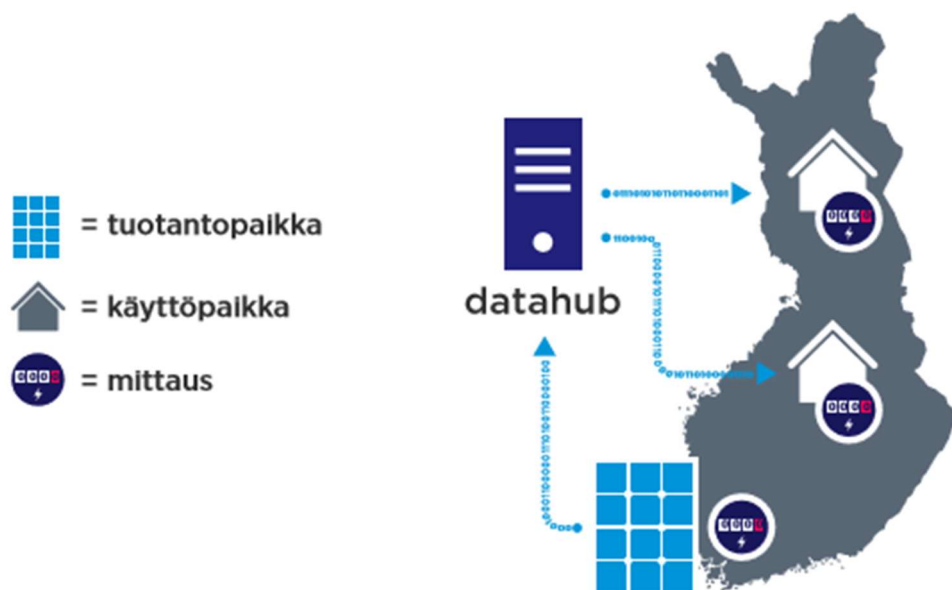
Kuva 7. Kiinteistön sisäinen energiayhteisö [7].

Suuremmat energiantuotantoyksiköt on helpompi toteuttaa yhteisön avulla ja se edesauttaa uusiutuvan energiantuotannon lisääntymistä. Yhteisö voi saada myös hyötyä paremmasta toimitusvarmuudesta, joka saavutetaan energiayhteisön toiminnalla. [19.] Energiayhteisöt jaetaan hajautetuksi- ja paikalliseksi energiayhteisöksi. Paikalliset energiayhteisöt jaetaan kiinteistön sisäiseksi- ja kiinteistönrajojen ylittäväksi energiayhteisöksi. [7.] Sähkötekniikan rakentaminen kiinteistön rajojen ylitse on tosin tällä hetkellä haasteellista. Voimassa olevan lainsäädännön mukaisesti sähkön siirtäminen sekä sähköverkon rakentaminen kiinteistörajojen yli on luvan vaativaa toimintaa. Työryhmä kuitenkin esittää pientuotantokohteen ja kulutuskohteen välisen sähköjohdon rakentamisen sallimista, ilman jakeluverkkoyhtiön suostumusta sekä sähköverkkolupaa. Tällöin lähitöillä olevaa sähkön tuotantopaikkaa voitaisiin hyödyntää, vaikka se sijaitisi naapurin kiinteistöllä kuvan 8 mukaisesti. [7.]



Kuva 8. Kiinteistönrajat ylittävä energiayhteisö [7].

Hajautetussa energiayhteisössä asiakas voi hyödyntää tuottamansa energian toisella sähkönkäyttöpaikalla. Esimerkiksi kesämökillä tuotettua sähköä haluttaisiin hyödyntää kaupungissa olevassa kerrostalo-osakkeessa. Tilanne voi olla myös se, että asiakas haluaa sijoittaa suureen tuotantoyksikköön ja täten hyötyä sen tuottamasta sähköstä. [19.] Tuotannon siirtäminen tapahtuisi jakelu- ja siirtoverkkoja pitkin, hyödyntäen sähkökauppoihin keskitettyä tiedonvaihdon Datahub-järjestelmää kuvan 9 mukaisesti [7].



Kuva 9. Hajautettu energiayhteisö [7].

4.4 Kulutuksenseuranta käytönoptimoinnin näkökulmasta

Sähkötalutus jakautuu usein iäkkäissä sähkölämmitteisissä asunnoissa siten, että huonetilojen lämmitykseen menee 50 %, käyttöveden lämmitykseen 20 % ja taloussähköön 30 %. Lämmityksen osuus on mahdollisesti jopa 80 % suurissa ja iäkkäissä kiinteistöissä. [62.] Sähkötalutus keskittyy kodeissa sähkölaitteisiin sekä tilojen- ja käyttöveden lämmitykseen. Asumismuoto, lämmitysvalinnat ja varustelutaso vaikuttavat lisäksi sähkön käyttöön. Kulutusta voidaan vähentää hankkimalla mahdollisimman energiatehokkaita laitteita ja muuttamalla käyttötapoja. [63.] Energiatehokkuutta voidaan parantaa lämmöntalteenoton ja lämpöpumppujen avulla. Tosin kokonaisvaikutus on kiinni myös siitä, minkä lämmityksen ne korvaavat. Korvattava energialähde ei yleensä ole sähköä, joten sähkönkäyttö lisääntynee uusia ratkaisuja käyttäessä, mutta parhaimmillaan esimerkiksi lämpöpumpuilla saadaan merkittäviä energiasäästöjä. Sähkölämmitys on potentiaalinen lämmitysvaihtoehto, kun sen tehokkuutta parannetaan automaatiolla. [63.]

Kulutuksenseurannalla on tarkoituksena havaita mahdolliset kulutuspoikkeamat. Seurannassa ei kerätä ainoastaan kulutustietoja vaan tietoja analysoidaan ja mahdollisia poikkeaman syitä myös selvitetään. Seurantaa suositellaan suoritettavaksi vähintään kuukausitasolla. Ennen kulutusseurannan ovat suorittaneet kiinteistöhuolto ja isännöitsijä, mutta nykyään se suoritetaan yhä useammin ostettuna palveluna tai internet-pohjaista sovellusta käyttäen. Sähkötalutuksen seurantaa tarjoavat myös energiayhtiöt. [64.] Jokaisessa huoneistossa suoritettavalla vesimittauksella on havaittu olevan 10-30 % säästövaikutus vedenkulutukseen. [65.] Saatavilla olevat energiantalutustiedot voivat myös saada aikaan energiansäästöä talutustottumuksissa. Tiedettäessä talutukseen vaikuttavat toiminnot, on helpompi lähteä muokkaamaan toimintaansa optimaaliseksi energiantalutuksen suhteen.

Sähkötalutustaan voi seurata myös sähkömittareiden antaman tiedon avulla. Etäluettavien mittareiden ansiosta talutustietojaan voi tutkia verkkoyhtiöiden verkkosivuilta. Etäluettavat mittarit ovat yhteydessä keskitettyyn mittareiden lukujärjestelmään. Täältä tieto lähetetään jatkokäsittelyä sähköyhtiöille. Jokaisen

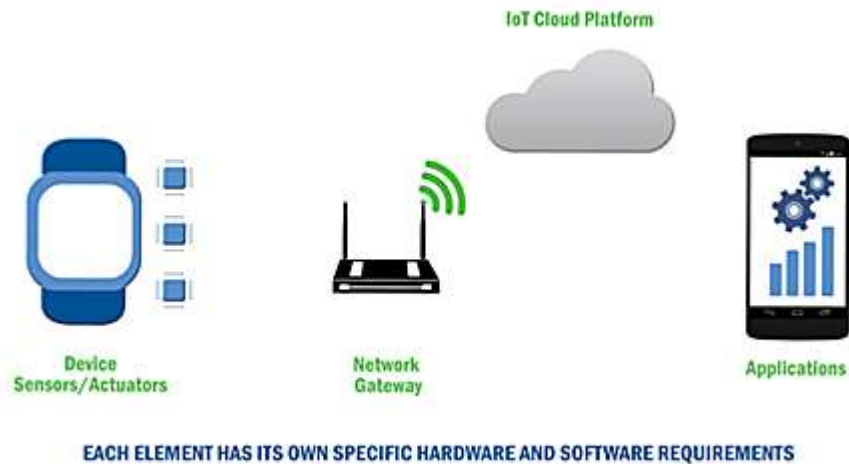
tunnin energiankäyttötiedot kerätään kerran päivässä. Keräys tapahtuu edellisen päivän tiedoista. Eli asiakas voi seurata sähkönkäyttöään päivän viiveellä. Etäluettavien mittareiden tuottaman datan avulla voidaan seurata entistä tarkemmin jännitteen laatua sekä sähkönjakelun keskeytyksiä. Oleellisin muutos asiakkaille etäluettavista mittareista on, että sähkölasku perustuu toteutuneeseen kulutukseen eikä arvioihin ja vuotuiheen tasaukseen. Näillä tiedoilla sähköyhtiöt voivat luoda tarkkoja kulutusraportteja asiakkaille sekä monipuolisemmat hinnoitteluvaihtoehdot. Asiakas pystyy näin hyödyntämään tukkumarkkinoiden vaihtelut vähentämällä kulutustaan kalliina tunteina. [66.]

Rakennuksen järjestelmiä pystytään säätämään tehokkaammaksi ja suunnata käyttäjän tarpeiden mukaiseksi rakennuksesta kerättävän mittaustiedon avulla. Mittauksilla voidaan määrittää kulutuksen lisäksi myös olosuhteita. Näiden tietojen avulla voidaan optimoida lämpötila ja sisäilmanlaatu energiaa säästäen. Suoritettavia mittauksia ovat esimerkiksi sisäilman lämpötila, kosteus ja hiilidioksidipitoisuus, valaistustaso, lämpöenergia ja laitteiden sähkönkulutus. Läsäolo voidaan määrittää antureilla. Mitattujen arvojen perusteella voidaan myös määrittää laitteiden kuntoa ja paikantaa mahdollisia vikoja. [65.]

4.5 Esineiden internet

Asuinrakennuksien energiatehokkuutta ja turvallisuutta on tulossa parantamaan esineiden internet eli Internet of Things, joka tarkoittaa esineitä, jotka on liitetty maailmanlaajuiseen verkkoon. Yhteisenä tekijänä esineillä on jokaisen yksilöllinen tunniste, joka voi olla esimerkiksi IP-osoite tai laitevalmistajan kehittämä ID. Esineet tuottavat jatkuvalla syötöllä dataa verkkoon, jossa se pystytään analysoimaan ja tallentamaan. [33.] Kuvassa 10 on selvennetty toimintaperiaatetta [67]. Esineiden internettiin voi kuulua laite, joka täyttää vaatimukset laskentatehosta, verkkoyhteydestä, datan käsittelystä ja ohjelmiston ominaisuuksista. Esimerkiksi näitä laitteita voivat olla televisiot, jääkaapit, valvontakamerat ja itseohjautuvat autot. [68.] Tämän kaltaisessa lot-laitteessa kerättävä data, on lähetettävä ja käsiteltävä muualla. Itse dataa keräävä laite ei monesti sisällä muistia. Ratkaisulla

on minimoitu laitteiden kustannuksia. Tallentaminen tapahtuu yleisesti pilvipalveluun. [69.]



Kuva 10. Iot yksinkertaistettuna [67].

Iot-ratkaisujen käyttäminen kiinteistöautomaatioissa on vielä vähäistä, mutta niitä testataan kiihtyvällä tahdilla ja ratkaisuja on jo olemassa. Kiinteistönhoidolle reaaliaikainen tiedon keruu vähentäisi tarvetta käydä lukemassa mittareita paikan päällä. Varustamalla kiinteistöjä ilmankosteuden, lämpötilan ja pienhiukkaspitoisuuden reaaliaikaisilla seuranta- ja hälytysjärjestelmillä voitaisiin ennaltaehkäistä ihmisille koituvia terveyshaittoja sekä vaurioita rakennuksissa. Rakennuksiin voitaisiin asentaa kosteusantureita rakennusvaiheessa. [33.] Ne antaisivat varoituksen tai parhaimmassa tapauksessa tekisivät korjaavia toimenpiteitä. Esimerkkinä tällaisesta on vaikka lämpötilan tai ilmanvaihdon säätäminen. Näin voitaisiin välttyä korjauksilta tai ainakin ryhtyä toimiin aikaisessa vaiheessa. [69.] Kiinteistönhoidolle lähetettäisiin ilmoituksia poikkeavista mittaustuloksista. Valmistajilta onkin jo tarjolla etävalvontaa, mutta se toimii vain yleensä heidän omissa järjestelmissään. [33.] Seurannalla saataisiin tietoa kiinteistön tilasta ja sen myötä toiminta kohti kustannustehokkaita ratkaisuja voitaisiin perustaa faktoihin.

Kuluttajalle olisi mielekästä saada kytkettyä esimerkiksi kulunvalvonta, ilmanvaihto, lämmitys ja valaistus yhdeksi kokonaisuudeksi. Kiinteistöjen etävalvonnalla on asiakkaan mahdollista saada vaikka älypuhelimeensa ilmoitus, jos esimerkiksi sähköliesi on jäänyt päälle. Anturoinnilla on myös mahdollista sammuttaa kyseinen liesi tai jokin muu päälle jäänyt sähkölaite. On myös mahdollista, että järjestelmä tunnistaa älypuhelimien signaalien perusteella, onko asukas läsnä asunnossa. Poissa ollessa järjestelmä tarkkailee sähkön ja veden kulutusta. [33.] Mobiilisovelluksella hoidettava ohjaus- ja seurantaohjelmisto löytyy esimerkiksi Ouman Oy:lta. Talojen etähallinta on mahdollista, kun muun muassa valaistus- ja lämmityslaitteet ovat yhteydessä internetiin. Esineiden internetin avulla tehostetaan datan keräämistä. Datan kerääminen pystytään keskittämään haluttuun kohteeseen ja helpottaa tavoitteisiin pääsemistä. Se saadaan reaaliaikaisesti ja sen avulla pystytään tekemään reaaliaikaisia päätöksiä. Internetin myötä myös laitteiden hallinta ja kontrolli paranevat. Laitteiden yhdistynyt toiminta tulee lisäksi mahdolliseksi. Oikealla hallinnalla ja datasta kerätyillä tiedoilla saadaan kasvatettua tuottavuutta sekä tehokkuutta. [70.]

4.6 Energiatehokkuus asuinrakennuksissa

Huomattava osa Suomen kokonaiskulutuksesta syntyy kiinteistöistä ja asuinrakennuksista. Kotitaloudet omistavat rakennuskannasta 60 %. Matalaenergiarakentaminen, energiatehokkuutta lisäävä talotekniikka ja ilmanvaihtojärjestelmiin tehtävät säädöt ovat esimerkkejä keinoista, joilla energiankulutusta voidaan vähentää asuinrakennuksissa. [71.] Matalaenergiarakentamiseen kuuluvissa lähes nollaenergiataloissa, rakennuksessa kulutettava energia on niin vähäistä, että olisi mahdollista tuottaa suuri osa energiasta lähistöllä uusiutuvista energianlähteistä. [2.] Esimerkiksi vuoden 2017 Murrosareenan raportissa mainitaan energiatehokkuuden parantamisella olevan huomattavia säästöjä kiinteistön käyttökustannuksiin [71].

Energiakatselmuksessa tutkitaan kohteen energiankäyttö sekä energiansäästö-potentiaalia. Lisäksi esitetään säästötoimenpiteet ja niiden kannattavuuslaskel-

mat sekä vaikutukset hiilidioksidipäästöihin. Samalla selvitetään myös uusiutuvien energianlähteiden käytön mahdollisuudet. Tavoitteena on tehostaa kiinteistön energiankäyttöä. [72.] Energiansäästötoimenpiteet määritellään energiankäyttötietojen ja rakennuksen läpikäynnin perusteella. [73.] Kerrostalon energiakatselmuksessa tutkitaan kustannustehokkaat energian säästötoimenpiteet sekä kulutusjakauma. Selvityksestä luodaan raportti, jossa tulee ilmi veden- ja energiankäytön nykytilanne. Myös lämpö-, vesi-, ilmastointi- ja sähköjärjestelmien toiminta ja käyttö kuvataan, annetaan säästötoimenpide-ehdotukset ja säästövaikutus raportit takaisinmaksuajalla. Kerrostalojen lisäksi energiakatselmusmalli on sovellettavissa myös suurempiin rivitaloyhtiöihin. Ylipäättään energiakatselmusmalli on vahvimmillaan isoissa kohteissa, joissa on paljon selvitettävää. [74.] Jotta varmistuttaisiin energiansäästöjen toteutumisesta, luodaan raportin toimenpiteistä toteutusohjelma. Kulutusseurannan avulla seurataan toimenpiteiden tuomia säästöjä ja kustannuksia. [75.]

Energiatodistusta voidaan käyttää rakennuksien energiatehokkuuden vertailemiseen kuten osto- ja vuokraustilanteissa. Todistuksessa määritellään ainoastaan rakennuksen ominaisuuksia, joita ovat esimerkiksi eristykset, ikkunat, ilmanvaihto ja lämmitys. Asukkaiden energiankulutustottumuksilla ei ole vaikutusta energialuokkaan. Energiatodistuksen voi antaa pätevätoimittaja ja todistus on voimassa 10 vuotta. Siihen sisällytetään myös huomioita sekä toimenpide-ehdotuksia energiatehokkuuden kohentamiseksi. [76.]

Pientalon myymistilanteessa energiatodistus on pakollinen. Sen hankkiminen on kuitenkin suositeltavaa muulloinkin. Arviointi tehdään asteikolla A-G. Suurin kulutus on G-luokassa ja alin A-luokassa. Energiatodistuksen perusteella voidaan rakennuksien energiatehokkuutta vertailla. [77.] Energiatodistuksen arviointias- teikkoa on kuvattu kuvassa 11 [76]. Älykkään ja kustannustehokkaan energian- käytön mahdollistamiseksi tulee sähkösuunnittelun olla myös laadukasta. [19.]



Kuva 11. Energiatodistus [76].

5 Pohdinta

Työssä selvitettiin, mitkä toimet yhteiskunnassa ohjaavat sähköjärjestelmän muutosta. Ilmastomuutosta hidastavista toimista yksi merkittävimmistä on uusiutumattoman energian eli fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen. Jotta maailman alati kasvavaa energiantarvetta voitaisiin tyydyttää kestävästi, on keksittävä tapoja tuottaa energiaa ilman hiilidioksidipäästöjä. Päästöjä rajoittamalla voitaisiin hidastaa ilmastonlämpenemistä ja samalla helpottaa siitä kärsivien maiden taakkaa. Jotta päästöjä voitaisiin vähentää, on energiatuotannossa ja kulutuksessa suositettava uusiutuvia energialähteitä. Sähkönkäytön uskotaan lisääntyvän tulevaisuudessa tasaiseen tahtiin ja sähköntuotannossa yhä huomattavampi osa tuotannosta onkin siirtymässä puhtailla energialähteillä

tuotetuksi. Työssä paneuduttiin lisäksi muutoksiin, jotka tukevat sähköjärjestelmän kehittymistä asiakaskeskeisemmäksi. Juuri ympäristöystävällisyyden sekä asiakaskeskeytyden mahdollistaminen tuokin paineen uusien palveluiden kehittämiseksi. Asiakaskeskeytyttä pyritään kehittämään niin, että asiakas voisi uusien palveluiden myötä hyötyä rahallisesti ostaessaan sähköä korkean tuotannon hetkinä. Automaation avulla edullinen sähkö voitaisiin varastoida tai ohjata suurempien toimilaitteiden käyttöön. Sähkönkulutuksen tehostamiseen kannustetaan kiinteistössä hyödyntäen uusia energiatehokkaita laitteita sekä automatiikkaa. Näillä toimilla kehitettäisiin sähköjärjestelmän energiatehokkuutta. Sähköjärjestelmän tuotanto- ja kulutusennusteiden pohjalta pyritään taas rakentamaan tiedonhallinta, joka palvelisi sähkönkuluttajia reaaliaikaisella tiedolla ja näin mahdollistaisi kulutuksenohjauksen optimaalisiin ajanjaksoihin. Energiajärjestelmää ollaan kehittämässä oikeaan suuntaan ympäristön näkökulmasta. Ympäristöystävällisille tuotteille on syntynyt markkinoilla jatkuvasti kysyntää ja moni valtio pyrkii hiilineutraaliuuteen. Esimerkiksi Joensuun kaupungin tavoite on olla hiilineutraali vuoteen 2025 mennessä.

Perehdyttäessä mahdollisuuksiin, joilla sähkönkuluttaja voi osallistua sähkömarkkinoille, tuli ilmi, että kehittyvä sähköjärjestelmä tarjoaa uusia palveluita sekä samalla järjestelmä myös kannustaa kuluttajia uudenlaiseen joustoon kulutuksessaan. Laitehankinnoissa kuluttajille on tulossa uusia vaihtoehtoja esineiden internetin sekä älyohjauksien myötä. Automatiikan avulla saadaan ohjattua asuinrakennuksen sähkölaitteita palvelemaan omia tarpeita sekä tehostamaan energiankäyttöä. Tällä saadaan säästöä sähkölaskussa vähentyneen energiankulutuksen myötä. Energiankulutuksen seuranta on tullut mahdolliseksi etäluettavien mittareiden avulla ja uuden sukupolven mittareiden vaihdoksen yhteydessä mittausjaksoja tullaan tihentämään. Energiayhtiöiden ylläpitämien verkkopalveluiden avulla, jokainen voi seurata sähkönkulutustaan. Tulevaisuuteen on myös suunnitteilla toimija, joka edustaisi kuluttajaa sähkömarkkinoilla. Toimija ei työskentelisi energiayhtiöille, vaan pyrkisi tekemään kannattavaa kaupankäyntiä asiakkaan ja sähköyhtiön välillä. Lisäksi mahdollisuus oman tuotannon siirtämisestä kokonaan toiselle käyttöpaikalle kuulostaa suotuisalta muutokselta. Se lisäisi tuotetun energian tehokkaampaa käyttöä, kun sähkö jäisi esimerkiksi muuten kesämökkien akkuihin käyttämättömänä. Toimintaansa se tarvitsisi keskitetyn tiedonvaihtoalustan, joka onkin kehitteillä Datahubin myötä. Sähkönpuhtautannon kannalta tulisi tuotetusta sähköstä saada täysi hyöty. Tähän pyritään esimerkiksi hyvityslaskentamallien avulla.

Sähköntuotannon ollessa suurta sääolosuhteiden myötä ja tuotannon ylittäessä kulutuksen, olisi tehokasta saada ylijäävä sähkö varastoitua johonkin. Asuinrakennuksissa varastointimahdollisuudet keskittyvät tällä hetkellä mielestäni lämminvesivaraajiin sekä sähköautoihin. Sähkönvarastoinnissa suurta roolia ollaankin kaavailemassa sähköiselle liikenteelle. Muutos liikenteen siirtymisestä polttomoottoreista sähköiseen liikenteeseen on kuitenkin vasta alussa, joka johtunee osittain ajoneuvojen korkeista hinnoista. Lisäksi markkinoilta ei löydy vielä kovin houkuttelevia kannustimia sähköautojen käyttöön osana energiavarastointia. Kiinteistöihin sijoitettavat akustot ovat myös yksi vaihtoehto varastoinnille. Omaan pientuotantoon tarkoitettuja akustoja voitaisiin käyttää edullisen energian varastointiin, kuten aurinkosähköä tuottavan kiinteistön akustoissa talven tuulisina päivinä. Epäselväksi kuitenkin jäi, tuleeko sähkönvarastointi asiakkaalle taloudellisesti kannattavaksi, johtuen akuston heikkenemisestä purkamisen ja latauksen seurauksena. Sähköasiakkaan kannalta sähkömarkkinoiden suunta näyttää kuitenkin positiiviselta. Parhaimmat mahdollisuudet sähkölaskussa säästämiseen ovat tällä hetkellä sähkön oikein ajoitettu osto sekä sähkönkäytön tehostaminen.

Aihepiiriin jatkotutkimustyönä voitaisiin tutkia rakennusta, jolla olisi omaa pientuotantoa. Tutkimuksen tarkoituksena olisi selvittää rakennuksen liitettävyyttä energiajärjestelmään sekä selvittää sen teknologioita toimitusvarmuuden näkökulmasta. Lisäksi voitaisiin tutkia kiinteistön ja mikroverkon liitettävyyttä jousto- sekä säätöreserviksi laajempaan energiajärjestelmään. Älykkään ohjauksen pohjalle voitaisiin luoda järjestelmä, joka toimisi mitattuihin tietoihin ja ennusteisiin perustuvalla automaatiolla. Kerätyn tiedon avulla voitaisiin kehittää analytiikkaa, datanhallintaa, visioida uusia toimintamalleja sekä tutkia niihin suoritettavien investointien kannattavuutta.

Opinnäytetyön aiheeseen liittyvien julkaisujen ja työ- ja elinkeinoministeriön luoman älyverkkotyöryhmän raportin perusteella Suomessa ollaan siirtymässä kohti energiatehokasta yhteiskuntaa ja monet yhteiskunnallisista toimista tähtäävätkin ympäristöystävällisyyteen. Yritykset myös markkinoivat itseään vastuullisella toiminnalla sekä kuluttajista moni tekee hankintapäätöksensä arvovalintojen perusteella. Maailman mennessä eteenpäin on myös energiajärjestelmän tehokkuuden parannuttava. Onnistuttaessa luomaan tehokas uusiutuviin energialähteisiin perustuva energiajärjestelmä, tulee sillä olemaan myös vientiarvoa maailman energiamarkkinoille. Monet työssä esitellyt mahdollisuudet ovat kuitenkin vielä visioita eikä niitä olla vielä päästy testaamaan suuressa mittakaavassa. Muutos kohti asiakaskeksisyyttä kuulostaa kuitenkin tervetulleelta, koska se synnyttäneen uusia palveluita sekä tervettä kilpailua markkinoille. Uusien tekniikoiden

sekä palveluiden tutkiminen ja kehittäminen vaatinee tällä hetkellä kuitenkin julkista rahoitusta, joten poliittiset päätökset tulevat vaikuttamaan käyttöönoton ajankohtaan. Tällä hetkellä käynnissä oleva COVID-19-viruspandemia voi myös vaikuttaa yksityisten ihmisten sekä valtion mahdollisuuksiin investoida uusituvan energian kehitystyöhön. Kehittyäkseen määrättyihin tavoitteisiin tarvitsee energiajärjestelmä kaikkien osapuolien yhteistä panosta.

Lähteet

1. Fingrid Oy 2018. Ilmastomuutoksen torjunta asettaa sähköjärjestelmän huoltovarmuuden uusien haasteiden eteen. <https://www.fingrid.fi/sivut/ajankohtaista/tiedotteet/2018/ilmastonmuutoksen-torjunta-asettaa-sahkojarjestelman-huoltovarmuuden-uusien-haasteiden-eteen/> [Viitattu 10.10.2019]
2. Teknologiateollisuus ry 2017. Teknologiat ilmastomuutoksen torjunnassa. https://www.teknologiainfo.net/sites/teknologiainfo.net/files/download/Teknologiat_ilmastonmuutoksen_torjunnassa.pdf [Viitattu 15.10.2019]
3. WWF Suomi. Pariisin ilmastopimus. <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/pariisin-ilmastopimus/> [Viitattu 29.12.2019]
4. WWF Suomi. Ilmastomuutos. <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/> [Viitattu 1.2.2020]
5. Ilmatieteen laitos 2020. Kasvihuonekaasut. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-tutkimus> [Viitattu 12.3.2020]
6. Ilmasto-opas. Vesihöyry on merkittävin kasvihuonekaasu. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/3f4249f8-f39a-4ff6-889a-eaa389b69cb7/vesihoyry.html> [Viitattu 14.3.2020]
7. Pahkala, T. Uimonen, H. & Väre, V. 2018. Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä. Älyverkkotyöryhmän loppuraportti. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161119/TEM_33_2018.pdf [Viitattu 12.12.2018]
8. Energiateollisuus ry 2020. Energiateollisuus: Sähköntuotanto avainasemassa vähennettäessä teollisuuden ja liikenteen päästöjä. <https://ener->

- gia.fi/julkaisut/materiaalipankki/energiateollisuus_sahkontuotanto_avainasemassa_vahennettaessa_teollisuuden_ja_liikenteen_paastoja.html#material-view [Viitattu 1.2.2020]
9. Energiateollisuus ry 2020. Energiavuosi 2019 Sähkö https://energia.fi/files/4363/Sahkovuosi_2019_mediakuvat.pdf [Viitattu 1.2.2020]
 10. STEK ry. Sähköenergian tuotanto. <https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkoenergian-tuotanto/> [Viitattu 15.10.2019]
 11. Aukia, J-P. 2015. Miten sähköjärjestelmä toimii? https://www.varmuudenvuoksi.fi/aihe/energiahuolto/158/miten_sahkojarjestelma_toimii [Viitattu 13.9.2019]
 12. Energiateollisuus ry 2014. Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje. https://energia.fi/files/881/Sahkontoimituksen_laatu_ja_toimitustapavirheen_sovellusohje_2014.pdf [Viitattu 13.2.2020]
 13. Energiateollisuus ry. Mihin säätövoimaa tarvitaan? https://energia.fi/linjaukset/energiapolitiikka/toimivat_markkinat/saatovoima [Viitattu 13.2.2020]
 14. Frantti, A. 2019. Varavoima-Harvoin käytetty, mutta silti välttämätön. <https://www.fingridlehti.fi/varavoima-2/> [Viitattu 13.2.2020]
 15. Energiateollisuus ry. Sähköntuotanto. <https://energia.fi/energiasta/energian-tuotanto/sahkontuotanto> [Viitattu 13.9.2019]
 16. Ilmasto-opas. Uusiutuva energia Suomessa. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/0bd05ecc-8c68-4fb6-a6e9-2c4ad90d577d/uusiutuva-energia.html> [Viitattu 20.3.2020]
 17. Tilastokeskus 2018. Energiaan ja päästöihin liittyviä tilastokäsitteitä. Sanastoluonnos 2018-12-20. http://www.tsk.fi/tiedostot/pdf/Energiaan_ja_paastoihin_liittyvia_tilastokasitteita_2018-12-20.pdf [Viitattu 14.3.2020]
 18. Ilmasto-opas. Maailman kasvihuonekaasupäästöt kasvavat yhä. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/42433dde-827f-485e-9fa9-45b49fbfa317/maailman-kasvihuonekaasupaastot-kasvavat-yha.html> [Viitattu 21.3.2020]
 19. Työ- ja elinkeinoministeriö 2018. Älyverkkotyöryhmän ehdotukset ja niiden tarkemmat perustelut-Älyverkkotyöryhmän loppuraportin liite. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161119/Liite_TEM_33_2018.pdf [Viitattu 13.11.2019]

20. Bremer, O., Frilander, O., Kaskinen, T. & Malho, M. 2017. Kysyntäjousto kuluttajan näkökulmasta. <https://tem.fi/documents/1410877/3481825/Kysynta%CC%88jousto+kuluttajan+na%CC%88ko%CC%88kulmasta.pdf/61f45c27-10bb-4ab9-ba20-a3bd0ee37014/Kysynta%CC%88jousto+kuluttajan+na%CC%88ko%CC%88kulmasta.pdf> [Viitattu 12.11.2019]
21. Energiateollisuus ry 2020. Energiateollisuuden sähkötilastot 2019: Sähkön tuotannon päästöt laskivat viime vuonna 23 prosenttia. https://energia.fi/julkaisut/materiaalipankki/energiateollisuuden_sahkotilastot_2019_sahkontuotannon_paastot_laskivat_viime_vuonna_23_prosenttia.html#material-view [Viitattu 5.1.2020]
22. Annala, S., Haakana, J., Honkapuro, S., Järventausta, P., Kaipia, T., Kauhaniemi, K., Kumpulainen, L., Koivisto-Rasmussen, R., Lassila, J., Nikander, A., Pakonen, P., Partanen, J., Rautiainen, A., Repo, S., Rinta-Luoma, J., Sirviö, K., Suntio, T., Valkama, A-K., Valkealahti, S., Verho, P., & Voima, S. Roadmap 2025 Sähkömarkkina- ja verkkovisio 2035 & Roadmap 2025 https://energia.fi/files/786/Roadmap_2025_loppuraportti.pdf
23. Työ- ja elinkeinoministeriö 2018. Datahub kokoaisi sähkön käyttö- ja käyttäjätiedot yhteen järjestelmään- helpottaisi myös uusien palvelujen kehittämistä. https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/1410877/datahub-kokoaisi-sahkon-kaytto-ja-kayttajatiedot-yhteen-jarjestelmaan-helpottaisi-myoos-uusien-palvelujen-kehittamista [Viitattu 29.12.2019]
24. Fingrid Oyj 2019. Sähkön vähittäismarkkinoiden liiketoimintaprosessit datahubissa. <https://www.ediel.fi/sites/default/files/S%C3%A4hk%C3%B6n%20v%C3%A4hitt%C3%A4ismarkkinoiden%20liiketoimintaprosessit%20datahubissa%20v1.11.pdf> [Viitattu 21.12.2019]
25. Leinonen, T 2018. Datahub - keskitetty tieto luo uusia mahdollisuuksia. <https://www.fingridlehti.fi/datahub-keskitetty-tieto-luo-uusia-mahdollisuuksia/> [Viitattu 20.11.2019]
26. Fingrid Datahub Oy. Datahub-kohti keskitettyä tiedonvaihtoa. <https://www.ediel.fi/datahub> [Viitattu 12.12.2019]

27. Työ- ja elinkeinoministeriö 2019. Datahubin käyttöönottopäivä siirtyy vuoteen 2022. https://tem.fi/artikkeli/-/asset_publisher/datahubin-kayttoonotto-paiva-siirtyy-vuoteen-2022 [Viitattu 3.1.2020]
28. STEK ry 2018. Älykäs sähköverkko. <https://stek.fi/alykas-sahkon-kaytto/alykas-sahkoverkko/> [Viitattu 1.12.2019]
29. ABB Oy 2020. Mikä on älykäs sähköverkko? <https://new.abb.com/fi/alykas-sahkoverkko/mika-on-alykas-sahkoverkko> [Viitattu 15.11.2019]
30. PKS Oy 2020. Sähkömarkkinalaki. <https://pks.fi/sahkoverkkopalvelut/toimitusvarmuus/sahkomarkkinalaki/> [Viitattu 5.12.2019]
31. Työ- ja elinkeinoministeriö 2018 Partanen, J. Sähkönsiirtohinnot ja toimitusvarmuus. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161178/43_18_Sahkonsiirtohinnot_ja_toimintavarmuus.pdf [Viitattu 30.3.2020]
32. Pahkala, T. Uimonen, H. & Väre, V. 2018, Joustava ja asiakaskeskeinen sähköjärjestelmä-Älyverkkotyöryhmän loppuraportti. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161119/TEM_33_2018.pdf [Viitattu 12.12.2018]
33. Collin, J. & Saarelainen, A. 2016, *Teollinen internet*
34. Työ- ja elinkeinoministeriö. Kysymyksiä ja vastauksia älykkäästä sähköjärjestelmästä. <https://tem.fi/perustietoja> [Viitattu 8.12.2019]
35. Sarvaranta, A 2010. Älykkäät sähköverkot-Selvitys älykkäistä sähköverkoista ja niiden kehityksestä Euroopan unionissa ja Suomessa. https://energia.fi/files/665/Alykkaat_sahkoverkot_Suomessa_ja_Euroopassa.pdf [Viitattu 20.12.2019]
36. Energiateollisuus ry 2016. Tuntimittauksen periaatteita. https://energia.fi/files/1153/Tuntimittaussuositus_paiv_20161012.pdf [Viitattu 2.4.2020]
37. Quva Oy ja Elisa Oy. Yritysjohdon opas IoT:n ja teollisen internetin hyödyntämiseen. https://quva.fi/site/attachments/yritysjohdon_opas_loT_ja_teollisen_internetin_hyodyntamiseen.pdf [Viitattu 23.3.2020]
38. Vihreät. Kotimainen energiaratkaisu-Vaihtoehto fennovoimalle. <https://www.vihreat.fi/sites/default/files/attachments/page/64349ef4-9858-4cfe-b719-7613f084ab99/kotimainenenergiaratkaisu.pdf> [Viitattu 28.12.2019]

39. Harsia, P. & Honkapuro, S. (2017) Kysyntäjousto edistää uusiutuvaa sähköntuotantoa. Sähköala 60:4, 21 – 23
40. Smart Energy Transition Marttila, T. Rask, M. Savolainen, K 2017. Muutospolku 2: Sähkön kysyntäjousto. <http://www.smartenergytransition.fi/tiedot/murrosareena-polku2-sahkon-kysyntajousto.pdf> [Viitattu 23.12.2019]
41. Liikennevirta Oy 2020. Termit haltuun: Kaksisuuntainen lataus ja Vehicle-to Grid. <https://www.virta.global/fi/blogi/kaksisuuntainen-lataus-ja-v2g> [Viitattu 2.4.2020]
42. Energiateollisuus ry Kortelainen, J. 2020. Nyt sähköauto energiavarastoksi! <https://www.energiauutiset.fi/etusivu/nyt-sahkoauto-energiavarastoksi.html> [Viitattu 2.4.2020]
43. Gaia Consulting Oy Bräckl, M. Klimscheffskij, M. Rautiainen, T. Vanhanen, J 2018. Vaikutustenarvio työ- ja elinkeinoministeriön älyverkkotyöryhmän esittämistä toimista. <https://tem.fi/documents/1410877/3481825/Vaikutustenarvio+%C3%A4lyverkkoty%C3%B6ryhm%C3%A4n+esitt%C3%A4mist%C3%A4+toimista%2C+8.10.2018/0452e52f-ec04-4e42-98f2-66cb6b0b79b9/Vaikutustenarvio+%C3%A4lyverkkoty%C3%B6ryhm%C3%A4n+esitt%C3%A4mist%C3%A4+toimista%2C+8.10.2018.pdf> [Viitattu 10.1.2020]
44. Strateginen tutkimus 2019. Uusien pientalojen energiankulutus pienenee, mutta sähkönvaihtelut ja huiput kasvavat-tutkimus peräänkuuluttaa resurssitehokkuutta. <https://el-tran.fi/2019/11/28/uusien-pientalojen-energiankulutus-pienenee-mutta-sahkotehovaihtelut-ja-huiput-kasvavat-tutkimus-peraankuuluttaa-resurssitehokkuutta/> [Viitattu 20.12.2019]
45. Alanen, R., Hukari, S., Koljonen, T & Saari, P 2003. Energian varastoinnin nykytila. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf> [Viitattu 10.1.2020]
46. Fingrid Oy 2018 Mähkä, M. Näin älykäs sähköjärjestelmä vaikuttaa sinunkin elämääsi. <https://www.fingridlehti.fi/nain-alykas-sahkojarjestelma-vaikuttaa-sinunkin-elamaasi/> [Viitattu 12.12.2019]
47. Energiateollisuus ry 2019 Kortelainen, J. Sähkövarastoja jopa 1 TW vuonna 2040. <https://www.energiauutiset.fi/sahkoverkot/sahkovarastoja-jopa-1-tw-vuonna-2040.html> [Viitattu 5.1.2020]

48. Strateginen tutkimus 2019 Aalto, P. Björkqvist, T. Haukkala, T. Järventausta, P. Kojo, M. Koskela, J. Rautiainen, A. Talus, K. Sähkönvarastointi edistää aurinkosähkön pientuotantoa. <https://tt.eduuni.fi/sites/EL-TRAN/Julkiset%20tiedostot/Juha%20Koskela%20et%20al.,%20S%C3%A4hk%C3%B6n%20varastointi%20edist%C3%A4%C3%A4%20aurinkos%C3%A4hk%C3%B6n%20pientuotantoa.pdf> [Viitattu 5.1.2020]
49. Smart Energy Transition 2020 Honkapuro, S. Kysyntäjousto ja varastot markkinoille hinnoittelun ja verotuksen uudistuksilla. <http://smartenergytransition.fi/fi/kysyntajousto-ja-varastot-markkinoille-hinnoittelun-ja-verotuksen-uudistuksilla/> [Viitattu 2.1.2020]
50. Landis+Gyr 2017. Digitalisaatio tuo lisää energiatehokkuutta. <https://eu.landisgyr.com/blog-fi/digitalisaatio-tuo-lisaa-energiatehokkuutta> [Viitattu 13.1.2020]
51. Fingrid Oyj 2018. Älyverkkotyöryhmä laati linjaukset energia-alan uudistumiseen-Kantaverkko kasvaa ja kehittyy 04 14. https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/asiakaslehdet/fingrid-lehti_3_2018.pdf [Viitattu 7.1.2020]
52. Energiateollisuus ry. Vähittäismarkkinoilta sähköä joka lähtöön. <https://energia.fi/energiasta/energiamarkkinat/sahkomarkkinat/vahittaismarkkinat> [Viitattu 20.3.2020]
53. Fingrid Oyj. Yhteisellä tiellä kohti tulevaisuuden sähköjärjestelmää. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyss/sahkomarkkinoiden-tulevaisuus/yhteisella-tiella/#kuluttajan-rooli-kasvaa> [Viitattu 20.3.2020]
54. Pohjois-Karjalan Sähkö Oy. Mitä on pörssisähkö. <https://pks.fi/sahkotarjoukset/kotiin/mita-on-porssisahko/> [Viitattu 20.3.2020]
55. Motiva Oy 2019. Valistuksen ohjaus. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/taloautomaatio_suurissa_asuinrakennuksissa/taloautomaation_tuomat_hyodyt/valaistuksen_ohjaus [Viitattu 15.12.2019]
56. Motiva Oy 2019. Taloautomaation perusteet. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/taloautomaatio_suurissa_asuinrakennuksissa/taloautomaation_perusteet [Viitattu 15.12.2019]

57. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Säättövoimaa tulevaisuuden sähkömarkkinoille. https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/whitepapers/VTTWhitePaper2018-Saatovoimaa_tulevaisuuden_sahkomarkkinalle.pdf [Viitattu 22.3.2020]
58. Sähköinfo Oy 2011. ET odottaa hajautetun sähköntuotannon lisääntyvän voimakkaasti. http://www.sahkoala.fi/koti/aurinkoenergia_ja_tuuli-voima/fi_FI/sahkon_pientuotanto/ [Viitattu 3.1.2020]
59. Energiavirasto 2019. Aurinkosähköntuotantokapasiteetti lisääntyi 82 % vuodessa. https://energiavirasto.fi/tiedote/-/asset_publisher/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-lisaantyi-82-vuodessa [10.1.2020]
60. Energiateollisuus ry 2017. Tulevaisuuden sähköjärjestelmä: Ketterä ja nokkela. <https://www.energiauutiset.fi/uutiset/kettera-ja-nokkela.html> [Viitattu 5.2.2020]
61. Finsolar Auvinen, K 2017. Aurinkosähkön hyvityslaskentamalli. <https://finsolar.net/hyvityslaskentamalli/> [Viitattu 24.3.2020]
62. Motiva Oy 2018. Seuraa sähkönkulutusta. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/remontoi_ja_huolla/energiatehokas_sahkolammitys/seuraa_sahkonkulutusta. [Viitattu 20.1.2020]
63. Energiateollisuus ry. Kotien sähkönkäytössä merkittäviä eroja. https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/energiatehokkuus/kodin_sahkonkaytto [Viitattu 3.1.2020]
64. Motiva Oy 2018. Kulutusseuranta. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/kulutusseuranta [Viitattu 10.1.2020]
65. Motiva Oy 2019. Taloautomaation tuomat hyödyt. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/taloautomaatio_suurissa_asuinrakennuksissa/taloautomaation_tuomat_hyodyt [Viitattu 12.1.2020]
66. Energiateollisuus ry Lehto, I. Tuntimittaus ja etäluenta. https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_mittaus [Viitattu 14.3.2020]
67. Emebedded Networks 2019 Damien, B. Energiatehokkuus IoT kehityksen ykköshaasteeksi. <https://etn.fi/index.php/tekniset-artikkelit/9302-energiatehokkuus-iot-kehityksen-ykkoshaasteeksi> [Viitattu 10.1.2020]

68. Haaga-Helia AMK Digitalouden koulutusyksikkö 2016 Ryynänen, T. Internet of things selkokielellä. <https://blogit.haaga-helia.fi/ryynanen/2016/02/29/mita-internet-of-things-voi-tarkoittaa-selkokielella> [Viitattu 23.1.2020]
69. Sininen Polku Oy 2016. Internet of Things (IoT) eli Esineiden Internet: Mistä on kyse? <https://www.sininenpolku.fi/fi/2016/06/01/internet-of-things-iot-eli-esineiden-internet-mista-on-kyse/> [Viitattu 23.1.2020]
70. Aveso Oy 2018. IoT-opas. <https://www.aveso.fi/iot-opas/Aveso-IoT-opas.pdf> [Viitattu 1.4.2020]
71. Auvinen, K., Hyysalo, S., Kivimaa, P., Loivio, R., Lukkarinen, J., Marttila, T., Peljo, J., Pyhälampi, A. & Temmes, A (toim.) 2017. Uusia näkymiä energiamurroksen Suomeen. Murrosareenan tuottamia kunnianhimoisia energia- & ilmastotoimia vuosille 2018-2030. <http://www.smartenergytransition.fi/tiedostot/murrosareena-loppuraportti.pdf> [Viitattu 20.3.2020]
72. Motiva Oy 2017. Energiakatselmukset. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiakatselmukset [Viitattu 1.2.2020]
73. Motiva Oy 2017. Kiinteistön energiakatselmus. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/energiakatselmusmallit/kiinteiston_energiakatselmus [Viitattu 2.2.2020]
74. Välimäki, M 2011. Voitaasiinko meidän kerrostalossa säästää energiaa? <https://www.sahkoviesti.fi/energiatehokkuus-2/voitaasiinko-meidan-kerrostalossa-saastaa-energiaa.html> [Viitattu 5.2.2020]
75. Motiva Oy 2016. Säästötoimenpiteiden toteuttaminen. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/energiakatselmus_kaynnistamisesta_seurantaan/saastotoimenpiteiden_toteuttaminen [Viitattu 12.1.2020]
76. Energiatodistus.info. Energiatodistus. <http://www.energiatodistus.info/> [Viitattu 23.4.2020]
77. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA 2016. Suunnitelmallisuutta energianparannuksiin. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Pientalot/Energiatehokkuus/Energiatehokas_pientalo/Energiankulutuksen_vahentaminen [Viitattu 15.1.2020]